海岸带海洋遥感与地理信息系统系列丛书

Hai'andai Haiyang Yaogan yu Dili Xinxi Xitong Xilie Congshu

海洋地理信息系统
——原理、技术与应用

苏奋振 周成虎 杨晓梅 张 杰 骆剑承 等著





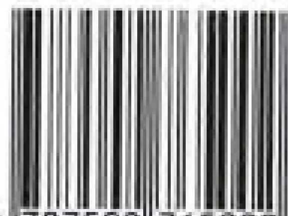
海洋出版社

责任编辑：阎　安
封面设计：常永刚



海岸带海洋遥感
与地理信息系统系列丛书
Hai'andai Haiyang Yaogan yu Dili Xinxi Xitong Xilie Congshu

- 海洋地理信息系统——原理、技术与应用
- 海岸带遥感综合技术与实例研究
- 海岸带及近海科学数据集成与共享研究
- 空间投影理论及其在遥感技术中的应用
- 黄河三角洲生态环境动态监测与数字模拟
- 环中国岛链——海洋地理、军事区位、信息系统
- 海岸带及近海卫星遥感综合应用技术
- 中国海岸带与海岛遥感调查——原则、方法、系统



ISBN 7-5027-6500-X/P· 907
定价：78.00元

海岸带海洋遥感与地理信息系统系列丛书

海洋地理信息系统

——原理、技术与应用

苏奋振 周成虎 杨晓梅 张　杰 骆剑承　等著

海洋出版社

2005年·北京

内容简介

本书面向海洋领域对地理信息系统(GIS)的特殊需求，针对海洋地空动态、模糊和高维等特性，从海洋地理信息系统(MGIS)的基础理念、分析方法、技术开发和实际应用进行了深入探讨，主要涉及MGIS的数据模型、逻辑计算和可视化等基本科学问题。本书所有的理论、技术、方法和应用均基于一个核心概念，即时空过程。以此探讨了MGIS如何表达时空过程，进而设计了MGIS的时空数据模型，以及基于该模型的一系列技术方法和集成方法；以此结合MaXplorer的研发，详细介绍了MGIS的研发方法，并给出了详细的软件设计；以此结合海洋锋和涡旋的提取，阐述在MGIS支持下，如何从数据场获取海洋中尺度现象的形态特征，进而表达、存储和分析这些海洋现象；以此顺应"数字海洋"的发展，以辽东湾为例，进行了数字海洋的原型研究。

本书可供遥感、地理信息系统、测绘、地理、海洋、大气等相关学科的科研人员、教师及研究生等阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋地理信息系统：原理、技术与应用/苏奋振等著．—北京：海洋出版社，2005.11

ISBN 7-5027-6500-X

Ⅰ.海…　Ⅱ.苏…　Ⅲ.海洋—地理信息系统　Ⅳ.P71

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第130813号

HAIYANG DILI XINXI XITONG

责任编辑：阎　安
责任印制：刘志恒

海洋出版社　出版发行
http://www.oceanpress.com.cn

(100081　北京市海淀区大慧寺路8号)
北京顺诚彩色印刷有限公司印刷　　各地新华书店经销
2005年11月第1版　　2006年6月北京第2次印刷
开本：787mm × 1092mm　1/16　　印张：22
字数：510千字　　印数：301～1200册
定价：78.00元

海岸带海洋遥感与地理信息系统系列丛书

编著委员会

丛书前言

应对海洋战略，迎接海洋世纪，高新技术如初升旭日，勃勃生机！

我国18 000多千米的大陆海岸线和300多万平方千米的管辖海区，是中华民族持续发展的重要生存空间；海岸带是我国利用程度最高的国土，人口最密集、经济最发达；海岸带海洋也是海洋灾害频发和生态极其脆弱的区域，生存空间和可持续发展受严重挑战。

当前，我国海岸带在自然和人工作用下，变化剧烈。特别是经济的发展，海岸工程的建设，致使海岸冲淤变迁，直接影响国土开发与工程建设。与此相伴，生态环境持续恶化，部分水域出现荒漠化。由此，急需快速、及时、同步地获取海岸带资源环境及其演变信息，为海岸海洋的规划、开发和环境保护提供决策支持。

20世纪90年代以来，国际高新技术与信息技术的迅速发展为海洋海岸带监测与信息服务提供了技术可能。当前，欧美纷纷开展区域海域遥感综合监测系统的研究，但岸线动态监测、滩涂信息提取、动力参数反演等仍然是难点。目前对地观测系统提供了海岸带近海动态监测的数据源，但现成的地理信息系统理论、方法和技术，严重缺乏对空间时序过程的处理分析能力。同时，海岸带诸多问题，需要集成多种技术才能完成综合监测。为此需要完成对海量时空数据的综合集成、管理、自动处理和信息分发，从而及时、全面、实时、持续地提供资源环境信息。

由此，攻克难点，综合集成，建立海岸带遥感综合应用系统，开展综合多要素、涉及多部门、覆盖全国海岸带的研究，完成我国海岸带资源环境宏观、动态、持续的监测，已成为我国海岸带经济社会持续发展以及海洋监测技术发展的急需。本丛书正是为此所著。

丛书在解决海岸带遥感分类标准、多源遥感信息融合等关键技术的基础上，建立起多尺度的海岸带及近海卫星遥感综合应用系统，主要围绕基础平台建设和多层次应用示范进行论述。基础平台分为基于本体的海岸带及近海遥感科学数据平台和基于海洋地理信息系统的遥感综合应用技术平台。其中，遥感综合应用平台集成了相关遥感监测模块，共同组成中国海岸带及近海卫星遥感综合应用系统。应用示范包括全国、区域、省、市多级应用，涉及海岸带滩涂空间资源的监测与变化评价、生态环境信息服务、河口海岸侵蚀、滨海湿地保护等方面，示范区分别为长江口、黄河三角洲、渤海等重点典型区。

丛书编撰出版由周成虎研究员任主编，苏奋振博士与杨晓梅博士任秘书，汇集了丛书众多作者多年心血，但鉴于时间、技术发展阶段以及著者的学科背景等诸多因素，纰漏定有，请方家不吝指正。

海岸带海洋遥感与地理信息系统系列丛书

已出版的专著：

《空间投影理论及其在遥感技术中的应用》
作者：任留成著　出版者：科学出版社　出版年：2001

《黄河三角洲生态环境动态监测与数字模拟》
作者：刘高焕、叶庆华、刘庆生等著　出版者：科学出版社　出版年：2001

《环中国岛链——海洋地理、军事区位、信息系统》
作者：刘宝银、杨晓梅著　出版者：海洋出版社　出版年：2003

《海岸带及近海卫星遥感综合应用技术》
作者：恽才兴主编　出版者：海洋出版社　出版年：2004

《中国海岸带与海岛遥感调查——原则、方法、系统》
作者：刘宝银、苏奋振著　出版者：海洋出版社　出版年：2005

《海岸带及近海科学数据集成与共享研究》
作者：杜云艳、周成虎、苏奋振、王敬贵、李四海、李加洪等著　出版者：海洋出版社
出版年：2005

《海洋地理信息系统——原理、技术与应用》
作者：苏奋振、周成虎、杨晓梅、张杰、骆剑承等著　出版者：海洋出版社　出版年：2005

《海岸带遥感综合技术与实例研究》
作者：杨晓梅、周成虎、杜云艳、王华等著　出版者：海洋出版社　出版年：2005

前　言

地理信息系统理论技术发展于陆地土地管理。几十年来,其理论技术研究日趋成熟,已经成功地应用在陆地上许多学科中。随着人们对海洋的重视,伴随海洋数据获取能力的提高,地理信息系统技术开始被海洋领域所关注。

然而,海洋领域的特殊性质,特别是时空动态特性、模糊性和高维特性,决定了地理信息系统理论技术的介入并非一蹴而就。海洋的特性为传统地理信息系统的数据模型、数据分析和可视化提出了许多新的研究课题,如可变化相对位置和值的空间数据结构,零星数据的插值,体分析,大数据集管理和输入等。这些问题的研究将推进 GIS 的方方面面,特别是地理信息系统对时空过程的处理分析能力。

本书面向海洋研究与管理的需求,针对海洋特性,以海洋时空过程为核心,展开了海洋地理信息系统的研究、开发和应用。全书分三篇,即基础篇、技术篇和应用篇。基础篇包括第 1～6 章,主要阐述了海洋地理信息系统的发展与主要研究问题,在此基础上提出了海洋地理信息系统研究与发展的核心概念——时空过程,并以此探讨了如何表达时空过程,进而设计了海洋地理信息系统的时空数据模型,以及基于该模型的一系列技术方法和集成方法。技术篇包括第 7～12 章,以 MaXplorer 的研发为例,详细介绍了海洋地理信息系统的研发方法,包括需求调查分析、系统设计、数据结构、界面设计等,并对 MaXplorer的技术特点进行了重点介绍。应用篇包括第 13～17 章,以海洋锋和蜗旋为例,阐述在海洋地理信息系统支持下,如何完成从数据场中获取海洋形态特征,进而表达、存储和分析海洋现象。顺应"数字海洋"的潮位,在应用篇中,我们以辽东湾为例,进行了数字海洋的原型研究。

本书属国家“863”重点项目“中国海岸带及近海卫星遥感综合应用系统技术”(2001AA6330,2003AA604040)的系列成果之一。在项目执行中,得到国家“863”高技术计划海洋监测技术主题的大力支持,特别要感谢主题专家赵进平研究员、田纪伟教授、周成虎研究员、罗旭业研究员、殷忠斌研究员、贾平研究员、关道明研究员的指导,感谢主题办公室刘涛给予的帮助。

全书由苏奋振和周成虎组织、统稿并定稿完成。参与本书撰写的人员分列如下:第 1、2、6、7 章,苏奋振、周成虎、杨晓梅、张杰;第 3、4、5、12、13、14、16、19 章,苏奋振、薛存金、仉天宇、孙晓宇、解丽、陈秀法、张杰;第 8、9、10、11 章,骆剑承、苏奋振、刘仁义、郑江、高锡章等。感谢课题组全体成员的共同努力。

随着人们对全球变化的关注,随着各国对海洋资源的重视,海洋地理信息系统必将得到更快更好的发展,必将在海洋的各应用层次中起更加重要作用。同时 MGIS 处于开始阶段,作为一个非常新的领域,其中蕴藏着大量的理论、技术和应用创新机会。这期待着更多研究者的参与。本书把我们的最新成果展现出来,尚来成熟,当为引玉之砖。

目　　次

上篇　基础篇

中篇 技术篇

下篇 应用篇

上篇　基础篇

第1章　绪　论

近十年来，由于航空航天遥感器、自动浮标以及多波束回声仪等海洋相关技术的发展，导致海洋数据量的急剧增加。面对海量数据存储、管理、维护、访问、快速分析与显示制图的挑战，地理信息系统(Geographic Information System，GIS)，作为对蕴涵空间位置信息的数据进行采集、存储、管理、分发、分析、显示和应用等的支撑技术，日益显示出在海洋领域的重要性。然而海洋的时空动态特性对GIS提出了新的挑战。为了应对这一挑战，海洋地理信息系统(Marine Geographic Information System，MGIS)应运而生。

一般地，GIS处理分析的对象大都是空间状态或有限时刻的空间状态的比较；MGIS则主要强调对时空过程的分析和处理，这当是MGIS区别于一般GIS的最大特点。

然而当前MGIS尚处于起步阶段，大多沿用传统GIS来描述和管理一些海洋数据，这必然面临许多问题，比如在数字框架中如何用概念与技术来表达和分析高动态、多维、模糊边界的海洋环境，以及如何协调人易于接受的抽象性或简单明了性与自然的复杂性相互冲突的不同要求，从而提高、扩展和优化空间信息系统在海洋领域的能力。

1.1　发展历程

1.1.1　探索阶段(20世纪60年代初至90年代初)

GIS在海洋中的探索始于20世纪60年代初，以美国国家海洋测量局(U. S. National Ocean Survey，NOS)的航海图自动化制图(Coppock，Rhind　1991)为发端，但此后的几十年的海洋应用，GIS并未引起人们的重视。

直到1990年，第一篇海洋GIS论文才由海洋学家和动态图形专家合作发表，该文肯定了GIS在管理和显示海洋数据的重要意义，并富有远见地讨论了海洋数据的三维建模、可视化和定量分析(Manley，Tallet　1990)。随后欧美在GIS海洋应用进行了多方而探索，比如搜索和发现海底沉船(Caswell　1992)；加拿大风暴潮建模(Keller et al.

1991)；英国数字海洋图集（Robinson　1991），New York Bight 水质量监控（Hansen et al.　1991）；美国西海岸专属经济区数据的处理（Langran，Kall　1991）；斯堪的纳维亚地区的污染排放和扩散（Dimmestol，Lucas　1992）；墨西哥湾的原油渗漏研究（MacDonald et al.　1992）。

值得一提的是，美国全球变化计划支持的 RIDGE 调查计划（ridge interdisciplinary global experiments program）利用多种仪器获取大量洋中脊地区的地质、物理、化学和生物过程数据，包括：热液的喷射流和渗冒羽流的温度和化学成分；水下火山的微地貌；洋底地震的量级和深度；热液喷射口动物多样性等数据。项目利用 GIS 缓冲功能设计航线，判断和划定声呐的探测范围，确定测点等。其数据的整理与存档在船上用 GIS 实现，可以方便地访问和检索多种传感器所获数据，对这些数据的叠加分析建立各要素之间关系。（Wright et al.　1995；Dawn Wright　1999）。

第一篇 GIS 海洋探索研究的理学硕士论文（Hatcher　1992）于 1992 年在 RIDGE 数据中心之一的罗得岛大学海洋制图发展中心（OMDC）问世。论文阐述了基于 GRASS 的栅格海洋 GIS 的开发，用于 Narragansett 湾的地质数据采集，以及海洋和海岸数据的处理与制图。同样受 RIDGE 资助，第一篇 GIS 海洋应用的博士论文也于 1994 年问世，该论文利用矢量 GIS 处理和分析东太平洋高地（East Pacific Rise）测量数据（Wright　1994）。

在此阶段，GIS 公司跃跃欲试进行应用软件开发。MRJ 公司推出用 ARC/INFO，Genamap 和 Erdas GIS 工具包定制的软件解决方案，并于 1993 年以 CD-ROM 发行了全球海洋影像和数据集。数据集与 ArcView 一起发售，显示了 GIS 对海洋观测资料的空间显示与分析的功能（MRJ　1993）。

ESRI 公司于 1991 年开始关注海洋 GIS 的应用。Universal system 有限公司则与加拿大水文服务署以及 New Brunswick 大学的海洋制图组合作，也于 1992 年推出了 CARIS 海洋信息系统的前身 CARIS GIS 软件包及其配套的水文信息处理系统，系统可处理和可视化大量回声测深数据，并可制作高质量航海图。Intergraph 公司也于 1993 年以电子图信息系统 ECDIS 介入了航海制图市场。

总之，此阶段主要是集中在将传统的 GIS 理论、技术方法尝试地应用在海洋和海岸带。

1.1.2　GIS 与海洋应用冲突阶段（20 世纪 90 年代中后期）

90 年代中，此阶段 GIS 在海洋中应用愈来愈多，其理论技术方法在海洋中的局限性也逐渐被揭示。高质量的海洋 GIS 论文、技术报告不断在各种会议文集上出现（Bobbitt et al.　1993；Drutman，Rauenzahn　1994；Trinanes et al.　1994）。这些文章进一步探索了 GIS 的海洋应用，使海洋学领域认识到 GIS 工具的潜能。其中 Hamre（1993）的报告强调了海洋用户需求定义对于开发可靠有效的海洋 GIS 的重要性；Lucas 等（1994）的报告强调了 GIS 海洋应用中空间元数据管理的重要性。

从会议论文的发表到知名杂志的刊出是一个重要的转折（Goodchild　1992）。Li 和 Sarena（1993）在 Marine geodesy 杂志发表论文阐述了 GIS 在陆地和海洋应用中的某

些重要差别，并介绍了服务于夏威夷 Big Island 专属经济区开发和发展的集成系统。Mason 等(1994)在 I. J. GIS 上发表论文，将遥感数据和海洋场实验调查数据结合起来解释中尺度(约 20 km)海洋特征，并预测气候变化。Wright 等(1995)发表了 RIDGE 的部分成果，利用 GIS 进行数据处理、分析和制图，由此讨论东太平洋洋中脊的地质解释。

1995 年由 Marine geodesy 杂志刊出海洋 GIS 研究专辑。该专辑为水深数据提出新的概念模型，用基于超图的数据结构来存储和管理水深数据(Li et al. 1995)；介绍了 GIS 用于海洋倾废和环境影响监测(Hall et al. 1995；Chavez Jr，Karl 1995)；提出海洋 GIS 与空间仿真集成的空间数据结构(Gold，Condal 1995)等。Marine geodesy 杂志自 1995 年以来已经刊出四期 MGIS 研究专辑。内容涉及 MGIS 数据模型、系统建设和集成以及在海洋和海岸带的各种应用等。

FAO 在 1996 年出版的海洋渔业 GIS 专著，回顾了 GIS 在海洋渔业中的应用，并指出了海洋渔业 GIS 需要突破的关键问题，如三维环境的操作、时空变化、模糊环境和统计制图等(Meaden 1996)。1999 年，海洋与海岸地理信息系统专著一书出版。该书通过 Internet 对 20 多位作者所作的章节进行协调统稿，该书对海洋数据的表达、分析与可视化等方面进行了深入的研究(Wright et al 1999)。近年来又有对海洋与渔业 GIS 方面的阐述，并凸显 Internet 在其中的作用。

此阶段各种处理海洋空间信息的分析软件纷纷面世，比如 FERRET，NOAA 的实时 TAO 浮标显示软件，EPIC 等。

与此同时，各国纷纷利用 GIS 处理、分析和规划各自海域，许多区域性管理组织和研究组织也纷纷采用 GIS 作为协同工作的平台。比如 SEAGIS 项目由挪威、德国、荷兰和英国组成，目的是给北海区的海岸带管理和规划提供一个收集、分析和分发数据的通用平台；1997 年欧洲环境署(European Environment Agency，EEA)为了对欧洲海域进行评价并提高评价的方法和工具，实施了 EUMARIS 项目，建立了支持欧洲海域评估的地理信息系统原型，用于描述环境状况及其随时间的变化，以及其影响因子(http://estaxp.santateresa.enea.it/www/line.html)；波罗的海区域 GIS(Baltic Sea RegionGIS)则利用现代景观理论制图；全球生态系(Large Marine Ecosystems of the World)利用生态系统的观点来评估和管理全球海岸带水域等等。

此阶段，我国对 GIS 在海洋应用方面的研究投入了大量科研经费。在“九五”期间，国家 863 计划海洋领域海洋监测主题设立了“海洋渔业遥感信息服务系统技术和示范试验”专题，该专题下设三个课题“海洋渔业服务遥感信息处理技术”、“海洋渔业服务地理信息系统技术”、“海洋渔业资源评估与遥感信息服务集成技术”，并以东海渔区为研究示范区，选取了东海三种经济鱼类，带鱼、马面鲀、鲳鱼为示范研究鱼种，开发了具有自主知识产权可业务化运行的海洋渔业遥感、地理信息系统技术应用服务系统。其中，中国科学院地理所主持研究“海洋渔业服务地理信息系统技术”课题，该课题组开发了具有海洋渔业应用特色的桌面 GIS 系统，并进行了一系列的研究。其中，苏奋振(2000)“Analysis of Spatio-temporal Fluctuations of East China Sea Fishery Resources Using GIS”入选由英国出版的专著《Environmental Coastal Regions》；杜云艳等(2000)、苏奋振等(2000)、

汪旭光等(2000)的多篇文章也都入选了 2000 年 11 月在中国北京召开的第四届海洋渔业国际会议专题报告。

2001 年,该研究小组出版了共同撰写的专著《海洋渔业地理信息系统研究与应用》。

总之,此阶段 GIS 的潜能已为海洋与海岸带领域所重视,并将其作为平台工具构建信息服务系统;同时也发现了传统地理信息理论方法与技术在海洋与海岸带中应用存在先天不足,并展开了相关的关键技术研究。

1.1.3 海洋 GIS 产生阶段(20 世纪末 21 世纪初)

事实上前面阶段大多是应用传统 GIS 理论方法和软件,以解决海洋相关领域的问题,这并不能形成"海洋地理信息系统"自己独特的理论技术方法。在前一阶段,海洋地理信息系统区别于传统 GIS 的特有关键技术取得了一系列的突破,人们也开始认识到海洋地理信息系统,并不等同于地理信息系统理论技术方法在海洋上的应用,而是地理信息系统一个全新的分支,需要进行专门的研究,需要有适合时空过程存储、操作、分析、现实与制图的理论、技术、方法和软件平台。换言之,海洋地理信息系统以一个相对独立的学科方向正式产生。

此阶段,我国苏奋振(2001,2003)、杜云艳(2001)、邵全琴(2001)、仉天宇(2002)等都先后完成了海洋 GIS 方面的博士学位论文及博士后工作报告,对海洋 GIS 的理论和实践进行了一系列研究,并在国内外发表了一系列的学术论文。

在软件方面,日本农林水产省环境模拟实验室(ESL)专门成立了海洋 GIS 研究组,开发了 Marine Explorer 海洋 GIS 软件系统,其制图功能主要面向海洋领域问题进行优化,面向海洋领域用户的习惯。1999 年,ESRI 公司成立了以 Wright 为领域专家的海洋数据模型研发组,于 2001 年建立了 ArcGIS 的海洋数据模型(ArcGIS Marine Data Model),并以加利福尼亚为研究区进行了应用示范研究。2002 年,苏奋振等研发了中国第一个具有自主知识产权的海洋地理信息系统软件 MaXplorer(Marine GIS eXplorer),该软件在海洋相关单位进行了推广试用。2004 年陈戈等研发了海洋大气地理信息系统平台软件 MAGIS(Marine and Atmospheric Geographical Information System),主要功能是把卫星遥感技术和 GIS 技术相结合应用于海洋大气研究。

综观海洋 GIS 的发展,由于海洋自身的特殊性以及研究起步较晚,使得海洋 GIS 发展相对缓慢,就目前的应用程度和学术水平来看,都远远落后于陆地 GIS 的发展。20 世纪 80 年代是陆地地理信息系统普遍发展和快速推广应用的重要阶段,而这个阶段海洋 GIS 还基本上是空白,从这点来看海洋 GIS 的发展相对于陆地 GIS 的发展推迟了 20 年以上。20 世纪 90 年代是陆地 GIS 应用的大发展阶段,称为 GIS 的用户时代。在这个阶段,随着"数字地球"战略和"数字海洋"的提出,以及海洋专用观测卫星不断获取大量遥感数据资料(Dawn Wright 1999),海洋用户对海洋 GIS 的需求也大幅度提高。这些为海洋科学工作者和 GIS 研究人员提出了新的挑战和机会。目前海洋 GIS 已成为重要的优先发展领域,海岸带海洋 GIS 研究正步入一个充满希望的崭新阶段。

1.2 MGIS研究主要内容

如前面所述，海洋GIS在过去几年里成为海洋领域新兴的高新技术之一，但相对于GIS在陆上资源与环境研究应用来说，海洋领域GIS仍处于起步阶段，研究大都用GIS来描述和管理一些海洋数据，有许多领域尚需进一步的研究，同时随着海洋科学的发展，许多新的问题会逐次出现，目前MGIS正因其所蕴涵的巨大理论技术创新而引起研究者莫大的关心。反言之，MGIS的发展将为海洋研究提供强有力的工具。

GIS由数据，软硬件和人构成，故以下从数据、分析和人文三方面论述MGIS的主要研究内容。

1.2.1 数据获取、结构及共享

1. 时空数据的获取

人类对太空的探测取得了巨大成就的同时，对地球的海洋，特别是对次表层以下的知识非常缺乏。因此最迫切的任务是获取更多更可靠的数据进行分析研究。

数据是GIS工作的原料，离开数据，GIS则成无米之炊。然海洋浩瀚，环境恶劣，时空变化频率高，实时同步立体数据的收集非常困难。目前自动数据收集器(robotic data collector)水下自行平台(Autonomous underwater vehicles，AUV's)发展极为迅速。其他海台基自动技术的发展同样迅速，如声呐设备，浮标，海底探测系统等。美国计划建立2个海床基数据自动收集网络，届时数据将实时地通过浮标传输到岸上。我国“九五”计划在此方面取得显著成果，比如863－818项目“海洋环境立体监测系统上海示范区”，所获数据包括物理数据(波、流、温、盐及其他化学测量)和生物数据(位置、数量、营养)。除直接的海洋测量之外，航空和航天遥感越来越多介人到数据获取中。这些先进手段对海洋数据获取，无论从数量、质量、分辨率、精度来说都是革命性变化。

尽管如此，数据在时空维上仍然是离散的。目前尚未有一种时空一体大范围同步观测的方法，卫星遥感器对常规监测和海面数据收集是巨大的促进，但其传感器无法获取水体内的信息。当前，海床或水体遥测仍限于声呐和和各种浮标。许多海上调查技术依然昂贵，广大发展中国家无法承担。数据获取的艰难，必然要寻找一些补救办法。如何有效地进行调查，这需要进行采样设计和插值优化的工作。同时，为了确保数据使用的可靠性还必须研究数据误差产生、传播、质量控制等方面的问题。GIS所处理的陆地现象通常在一定时期内是相对静态的，从陆地应用发展起来的采样设计、插值优化、误差理论、质量控制不完全适合海洋的特殊时空动态性。比如采样，由于海洋资源分布的时空异质性，采用时空固定的样方方法来估计，其结果可能无法接受。此方面的研究目前尚薄弱，未能形成较为完善的体系。

另一方面，有大量的二手数据可以获得，此当为MGIS的重要数据源，但存在如何将其数字化存储的问题，比如海流和海浪的玫瑰图。如果仅是将其以图像的形式存储，那么用计算机进行计算和分析就非常困难。

2. 时空数据的存储

如果用任务要素来划分 GIS 工作，可以分成 7 个要素：①时间；②水平面；③垂直面；④对象；⑤过程；⑥对象动态；⑦过程动态。对于陆上 GIS 来说，经常性考虑的任务要素是①，②和④。而海洋 GIS 还必须考虑要素③ ⑤ ⑥和⑦，这是因为海洋环境的变化包括时间上的变化和空间上的变化，其动力和影响因素很多，比如混沌性质的风、河流冲淡水、潮汐异常等。而水中的物体，比如鱼，船等也是运动的，与水是相对独立又有关联。运动有路线的变化、速度的变化和时间的变化等。可以说 GIS 在海洋应用面临了较为全面较为典型的时空问题。

陆地上地物可以用明确易见的特征来描述，故 GIS 可以用点线面来表达之。比如根据遥感图像绘制出资源和人口分布图；使用航空摄影制作出地形，城市和土地所有者地图；GPS 测定道路等的特征位置。这些数字信息在 GIS 支持下用于监测、预测和规划。而在海洋自然环境中，除海底外，并没有绝对的点线面，其岸线也是变动中，很少有静态特性可用于制图。

换个角度来说，陆地表面提供了一个符合牛顿框架的刚性二维系统，可用于定位任何特征，属欧拉模型，可以用点线面刻画在时间上相对静态的数据或那些相对刚性的对象，如道路，植被，地形和建筑等。而海洋缺乏刚性框架，表达特征的流动性需要以对象为中心(ojbect-centred)的拉格朗日模型，而不是像陆地 GIS 那样用绝对坐标系统来刻画地物对象。

面向对象的方法比较适合处理海洋数据内在的动态和多维特性，比如可以利用面向对象的 GIS 数据模型将模型与数据库的设计和应用融为一体，对大数据的收集，存档，发布和分析极为有效(Li 1995)。最终用户可以设置每一数据对象的状态和行为。如此将使"智能数据对象"成为可能。

3. 时空数据的表达

首先是空间表达。陆地 GIS 一般处理二维平面或曲面上的问题，而海洋水体的温盐密等物理要素及其形成的梯度等都是三维分布且相互关联的，同时还与其他三维分布的生物和化学等要素密切相关。当我们试图表现它们的分布时，往往无法用现有二维的 GIS 表达这种真三维现象，因为二维的 GIS 并不能表达水体内部现象。对于这种问题，一种处理方式是忽略垂直维的变化，对整个深度上的数据进行求和或者求平均，此方法在不需要考虑垂直变化时是行之有效的，比如了解海洋生物种群区域性分布等；另一种方法是将水体分成不同深度大面和不同断面进行二维 GIS 分布研究；第三种方法是发展一个现实的 3-D 体模型，即三维体的数据结构的研究(Raper 2000)，但目前主要应用在矿产、石油、水文方面，而海洋领域这方面的研究这一两年才开始(Harding，MacNab)。Varma 基于 HH 编码，通过对空间的等分，从而索引空间对象(Varma 2000)。Meaden 则提出了一种通用层次 3D 数据结构，任何海洋空间用这种网状瓦片切分都有六种分解，其索引采用 Magnitude 码，不同应用使用不同分辨率(Meaden 2000)。

更为复杂的是时空表达。时空表达是相对于空间静态表达而言，属于过程研究的范畴。通常海洋 GIS 中对于时间处理往往是忽略时间的连续变化，将时间分段或取某时刻代替时段，即假设时间为静态，以表达现象在二维或三维空间上的特征与属性。比如

Meaille 等(Meaille,Wald　1990)用不同时段的地图形成一张综合图。这种方法是将 GIS 陆上方法直接套用到海洋中来,忽略时间属性,其分析结果及其科学性值得讨论。

由此,时空表达的研究还有很多工作要做,其解决途径主要有两方面。一是沿用陆上 GIS 许多较为典型的时空模型。然而,这些模型在表达海洋 GIS 中均有不可弥补的缺点,因此需要寻找新的模型的出现。二是从海洋的实际情况出发,针对其研究对象的特征,运用新的信息技术和理论,构造新的数据模型。

4. 标准与共享

数据标准是研究与应用的重要问题,对于海洋 GIS 来说,清晰明确的标准对数据定义,质量控制和数据交换更显重要。

根据应用目标的不同、专业用户的不同,数据的定义、组织、质量等千差万别。虽然全球海洋数据库在内容和数据量上仍然有限,但随着研究的深入和技术的进步,数据量以及国家或机构之间的数据交换将会持续迅速增长。按各自需求定义数据格式或标准,有灵活性,但缺点也明显:数据往往不能相互转换,或者说不能融合在一起使用;数据质量的损失、误差传递或结果的不确定;数据应用在不恰当的位置。建立和应用一个合理的数据标准是问题的关键,需兼顾灵活性与统一性。

目前国际上在海洋领域至少同时存在 30 种数据标准(格式)。标准的统一将依赖于全球的专家和国际组织。相关国际组织有:国际标准组织(International Standards Organization,ISO),国际水文委员会(International Hydrographic commission,IHO),政府间海洋学委员会(Intergovernmental oceanographic Commission,IOC),北大西洋公约组织(North Atlantic Treaty Organisation,NATO),国际海洋开发委员会(International Council for Exploration of the Sea,ICES),世界气象组织(World Meteorological Organisation,WMO),国际海事组织(International Maritime Organisation,IMO),国际制图协会(International Cartographic Association,ICA),国际科学联合理事会(International Council of Scientific Union,ICSU)等。

在坐标体系方面,WGS-84 为全球提供了一个水平数据标准(datum)。与此相应,全球高程标准也正在研究中(Palmer,Pruett　1999)。这为海洋数据的空间定位提供了全球统一的标准。

1.2.2　分析理论与技术

从信息系统及其技术的角度来看,GIS 比较完备,但海洋 GIS 却仍需要更多更深入的研究工作。主要有两方面:一是其内部理论技术的研究和发展,另一是如何吸纳其他学科新技术的问题。

由于 GIS 是从陆地应用发展起来的,其许多理论和技术在海洋中应用必然会遭遇一些困难。比如海洋是时空互动的多维空间,需要研究比传统数据结构更适合的数据结构,用于计算分析这种三维动态环境。又比如海洋锋、中尺度涡旋等海洋现象,其边界是模糊的,需要研究对这些现象进行描述、识别和操作的方法和技术。

另一方面,随着信息技术的发展,海洋 GIS 也需要不断的吐故纳新。目前海洋 GIS 已运用了遥感、数据库、模型库、GPS(全球定位系统)等先进的技术,但对于人工智能方

面的技术引入，尚欠不够。比如，可引入空间数据挖掘的概念和技术对要素间关系进行研究，发掘其时空关联规则(苏奋振，周成虎　2002)。

以下具体地从多个角度来论述海洋 GIS 的分析理论与技术范畴中的关键问题。

1. 模糊性与不确定边界

海岸线因自然力量而处于变化中，其自然过程在大空间尺度上一般较少发生变化，但其界线的划定一般比较模糊。而从多光谱或其他影像中快速提取陆地/海洋界面的方法则需要考虑潮汐的周期性变化，以及由岸到海的混合像元逐渐过渡等问题。如此以自动半自动地完成海岸线自动监测与更新。这些问题解决同时依赖于非常基础的问题，即全球高程 datum 的定义。

对于海洋管理边界的确定，在依赖于共同组织、双方的协定和权威机构的裁定的同时，需要建立海洋边界数据库，将边界的变化记录在数据库中，这需要研究动态更新与保留历史记录的技术问题、研究边界的划分算法和信息的网络分布等问题。

海洋环境中各种水体边界往往是渐变的，与此相应的，要素分布也是一个渐变的过程。渐变发生在空间维上，也表现在时间维上，往往无法用人划定的确切边界处理。而 GIS 往往是以“确定边界”来表达时空分布，应用于海洋将导致边界的不确定、不准确或损失信息，对结果的精度评价也存在困难，由此在“确定边界”上的表达、分析、建模、推导都存在着问题。

解决此类问题，目前采用的方法是在 GIS 中使用模糊数学的方法对现实对象进行表达和操作，包括数据收集过程，提取、分析和显示过程。其优点在于将传统的绝对判别(是/否)用连续的变化的隶属度来作判定，这可接近于现实世界，在 GIS 中能提高表达真实世界的精确性度和科学性，而在 GIS 分析推理过程中可以更多地加入人的思想、知识理论等，许多学者认为模糊集会成为一个对不确定性问题处理的标准方式(Leung，Leung　1993)，将代替布尔逻辑成为下一代 GIS 的逻辑基础。比如数据收集过程采用基于模糊数学的影像分类方法可提高分类精度。又比如，建立模糊关系数据库，具有模糊抽取的功能，其模糊关系可从两个方面提高了操作性能，一是系统能够处理不完全甚至不精确数据，并提供友好的界面，二是用户可以根据存储的数据，表达用户主观上的看法(Kollias，Voliotis　1991)。模糊集也可用于分析海洋在时间上的变化，比如可以研究水草在时间及相关变量上的变动(Bushing　1997)。

虽然已经有一些研究和应用使用了模糊集理论，但与模糊集相联系的粗集理论却未见有在海洋中使用。粗集理论在表达不确定性问题上有独特的优点，能够发现各空间要素值对过程影响的重要程度。相信它的介入将有利于海洋 GIS 对模糊边界、类别表达和不确定逻辑推理及知识发现等问题的解决(苏奋振，周成虎　2001)。

2. 时空动态的尺度

在陆地 GIS 中，一般水平面的各向相对是均质的，旋转不变。但在海洋环境中，垂直于海岸线的变化远大于沿海岸线的变化，其空间分辨率差别明显。在三维海洋环境中，在水平方向和垂直方向更是如此。因此表达海洋环境时其空间各向异性往往必须考虑。

对于运动的表现和分析，则还涉及时间尺度问题。正如前面提到的，海水受海流、潮汐、风浪和涌浪等的作用，时刻处于三维运动变化之中，其中物理、化学和生源要素、浮游

生物及鱼类也是运动的，这些运动可以被认为是随机的、混沌或不可预测的(Schneider，Bult，Gregory，et al. 1999)。科学有效地研究这些由于运动导致的问题时，应当注意运动的尺度，时空变化总是与时空尺度紧密相连的。研究运动的最基本工作在于确定最佳的研究尺度或至少弄清运动的一些基本特性，然后才可能进行恰当的模型开发和其他研究。

对于海洋研究来说，不同研究目的、时段、区域和不同学科往往存在不同的时空变化规律，尺度选择合适与否直接影响研究结果的正确与否，不同的尺度选择决定了不同的数据收集方式，不同的取舍(采样)方式。就时间尺度而言，各现象的时间尺度不一，比如El Nino现象以多年为周期，潮汐现象的尺度是日或半日等。而不同的空间尺度下，所能研究的运动规律也不一样，比如海水运动的空间尺度问题，同样的波动形式，在微尺度下表现为海面微尺度特征，在海面上则形成波浪的形态，尺度更大时，还可以体现为潮流和海流的变化、大尺度现象和全球尺度的振荡等，在进行海水运动特征的分析时，尺度分析在流体动力学研究中历来作为一项重要的工作而首先进行，尺度划分得当，才能更加清楚地分析基本运动形态特征、运动能量分布、水体输送和各种通量计算等工作。Trathan等在分析南大洋生态与海洋关系时对此作了很好的说明(Trathan 1993)。类似的研究还有Kracker，他用不同专题图进行叠加分析(overlay)，从而提取个体与水对生态过程影响下的种群分布模式(Kracker 1999)。

另外，在研究时空尺度问题时，必须考虑尺度的层次特性。大尺度的时空对象是由小尺度的时空对象构成，例如年过程曲线由月过程曲线概化而成；同时也应该注意时空层次有时是不可机械累加的特性，如潮汐与海平面上升是不同时空层次的现象。

由于不同的海洋现象、模式、关系存在于不同的时空尺度中，因此无论是静态的或动态的显示，需要将数据在不同尺度下进行可视化。一般的做法是按照需要从数据库中提取出某一尺度的数据，然后按不同的算法，将数据转化为另一尺度的数据，再将它显示出来。这里的关键在于如何确定合适的尺度，以及如何科学地实现尺度的转换。

3. 可视分析与三维分析

利用传统的GIS技术可以对同一空间范围不同要素进行比较，也可以将不同空间范围同一要素进行的比较，或者进行不同空间范围不同要素的比较。这可用多文档技术处理。

正如前面所说，海洋要素值的分布是渐进的，因此如何将渐进的值可视化是非常关键的问题，比如可以用直方图将渐进的值进行分阶显示等。同时，需要研究如何区别不同对象，如何表达“黄海”、“东海”和“长江入海处”等的语义模糊，如何确定最好的制图分类，比如藻类的分类按种还是属等。

除此之外，当前的GIS是以二维或二点五维的表面模型为基础(Raper 1999)的，而海洋领域需要同等地考虑三维，不仅仅是可视化，而且更多的是空间分析。当前GIS并未提供易于使用的三维可视化或体分析，如Fledermaus，Dynamic Graphics，IBM Visualization Data Explorer or Spyglass那样，在分析中有一定的局限性。需要强调的是可视化与分析的区别，前者关心数据以三维体的图解形式显示出来；后者是对数据的操纵和处理以获取更深层次信息，这信息可以是可视的也可以是不可视的。

由此需要扩展第三维能力，像 Intergraph's Voxel Analyst 那样，但作为海洋 GIS 来说，其能力尚显不足。同样，当前的数据库管理系统(DBMSs)不直接提供此种功能，但从技术角度来看，由从数据库提供科学数据可视化比由 GIS 桌面系统来提供这一功能要恰当和容易。

4. 动态显示与动态分析

海洋 GIS 目的之一是通过可视化模型分析、获取蕴含在海洋环境中的物理、生物和化学特性、规律以及不同尺度的关系。

海洋相对于陆地而言，更加强调的是其过程，存在大量的时间序列数据。需要继承原有的分析方法，并在技术上使用户更易于使用，比如绘制过程曲线，需要在不同时空尺度进行转换或推移，或者自动从数据库中提取数据，实时绘制可无级缩放的过程曲线。这里的无级缩放包括时间和空间上的尺度缩放过程。

换一角度来看，大部分 GIS 并未发展处理时间序列数据的能力。这一缺陷根源于对时间数据的概念的不完全理解，特别是对海岸带环境。而 DBMS 技术的发展受银行和交易时间数据需求影响，并不适合于支持空间数据的时间序列分析和显示。许多 GIS 专家不得已将 GIS 与一些专门的时间序列分析程序相连(如傅立叶变换，功率谱，随机模拟等)，但终究是相对割裂，因此，动态分析仍然是 MGIS 当前研究的热点。

5. 时空要素相互关系

我们探究要素间的相互关系时，最常用的数理方法是相关分析和回归分析，或者空间相关与自相关方法。相关分析用于研究两个或数个变量共同变化的程度，回归分析则通过建立变量间函数关系，达到根据一个或一些变量的取值来估计或预测另一变量的目的。空间相关与自相关方法的原理源于相关分析方法。在很多学科的科学研究中，经常追求用这些确定的数学模型来解决问题或描述现象，然而真实世界是不断变化的，不完全的，不精确的，充满矛盾的复杂的信息世界，确定的数学模型有时会表现出较大的局限性。

海洋现象包含着大量的柔性信息，表现出模糊性、复杂性和不精确性，变量间的关系有时不是一个确定的函数或几个量就可以描述的，若忽略时空数据的时空特性，用传统数理统计的相关分析和回归分析进行处理，存在是否满足相关分析和回归分析的前提条件的问题。同时，忽略时空特性或现象间的时空关系，可能造成分析结果的不可靠等问题。比如，渔场形成不但与当前位置的水温有关，还与周围的温度及其温锋有关。而环境因子的影响有时又是属于布尔型的(苏奋振 2002)。

另一方面，由于环境因子众多，包括温度(特别是温锋与中尺度涡)、上升流、水深、叶绿素、底质和盐度等，涉及水文、地质、生物、气候、地理和遥感等学科，故应当在寻求环境因子关系时，引入新技术新理论，从多学科的融合交叉中寻求解算方法。

6. 计算模型和实验流程(动态分析，动态显示)

GIS 在将地图与计算模型相连或链接其他平台的程序方面功能强大。比如陆地过程模型：地下水污染模型，气象模型，水土流失方程，表面水文模型；社会经济模型：模拟商业网点影响，模拟疾病和日用品的流行等。而在海洋方面仍然缺乏研究和理解，但集

成多技术的协同优势是显而易见的。

将模型与GIS相连使其为科学研究成一逻辑过程就比较难了。将单一的模型与GIS相连就不易，将一序列模型与GIS集成就更为困难。因此研究方向是提供模板和计算工具，使在模型之间和与GIS间提取数据，输入结果更为简便。比如scientific notebook systems (e.g.,Cuny et al. 1997;Skidmore et al. 1998)被设计为支持科学合作和协同分布计算(多个合作科学家在同一时间对同一数据在不同地点进行协同工作)

海洋水体是时空动态的三维空间，其中的组成成分及其相互关系也处于动态中。鉴于这种研究对象的时空复杂性，需要从两方面开展研究工作，以便更科学地解译海洋的时空规律：一是需要改造旧的或设计新的底层GIS分析模型，同时积极吸收和融合各学科的最新理论和技术，针对海洋时空特征不断界定技术标准，发展技术方法；二是需要改造旧的或设计新的海洋数学模型，使其更易于集成在GIS平台上运行。

1.2.3 人文与教育

前面提到的是技术问题，海洋GIS还存在人文和制度问题。

尽管GIS在学术、商业、政府和科学等领域取得了重要成就，有了很好的用户基础。GIS使海洋工作者存储数据、管理数据和分析数据更为方便，也方便了没有海洋学或制图背景的人员进行海图制作。

但GIS在传统的海洋科学研究中并不是必须的，它的应用必然会有一个抵触，怀疑和接受的过程。技术上，需要培训用户，使用户从概念和技术上知道它的长处与缺点，并且知道GIS仍然处于发展和完善中。经济上，随着GIS软硬件相对成本的下降，来自经费的压力越来越小，但数据输入仍然是非常昂贵，主要原因是数据收集的困难，数据理解和整理的困难。解决由于费用高昂而不使用GIS的问题，最有效的方法是证明海洋GIS的必要性，让用户觉得物有所值。

除此之外，有必要研究的其他方面：如何使技术符合海洋与海岸用户的环境和信息要求；什么是系统用户的培训要求，如何满足；如何在海洋与海岸管理决策支持系统的设计与开发中体现以人为本的思想，需要形成什么样的决策，应用什么数据和规则形成决策。这些规则如何转换为专家系统的语言而又能为用户所控制。用户界面的设计(Su 1999)，包括用户界面友好性的研究，比如对数据的可视化，是否可以如操纵潜水装置在海中或在海底那样；同时使GIS成为具有为海洋管理和决策的、支持公众规划的、促进海洋利用的教育培训工具。

1.3 小　结

GIS逐步进入海洋，并且将在各个应用层次、决策层次中起作用；但是也应该注意到GIS进入海洋，需要海洋或GIS发生相应的变化，这种变化随着研究和应用的深入而迅速改变。MGIS作为一个全球尚处于开始阶段，非常新的领域，蕴藏着大量的理论、技术和应用创新的机会。

同时，GIS技术的介入并非一蹴而就。海洋领域的特殊需求，包括可变化相对位置和值的空间数据结构、零星数据的插值、体分析、大数据集管理和输入等，将促进GIS设计，改变其结构以至空间信息科学。时空动态是海洋研究中必须充分注意的特性。如何将海洋模型集成在GIS平台上进行可视地调节参数，并动态地显示海洋的时空变化是其最为困难的问题。随全球变化的关注和对海洋及其资源的重视，随着GIS和可视化技术的发展，MGIS产生的时机已成熟。

参考文献

1 杜云艳. 2001. 地理案例推理及其应用:[博士论文]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所

2 邵全琴. 2001. 海洋GIS时空数据表达研究:[博士论文]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所

3 苏奋振. 2001. 海洋渔业资源时空动态研究:[博士论文]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所

4 苏奋振，周成虎，邵全琴，杜云燕，仉天宇. 2002. 渔业地理信息系统的发展、应用与前景. 水产学报，26(2):169－174

5 苏奋振，周成虎，邵全琴，等. 2001. 东海区鱼类资源变化GIS时空分析. 高技术通讯，11(5):60－63

6 苏奋振，周成虎，刘宝银，杜云艳，邵全琴. 2002. 基于海洋要素时空配置的渔场形成机制发现模型和应用. 海洋学报，24(5)

7 王文宇. 2003. GIS支持下的西北太平洋鱿柔鱼资源与海洋环境关系研究:[博士论文]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所

8 仉天宇. 2002. 海洋GIS场模型研究:[博士论文]. . 北京:中国科学院地理科学与资源研究所

9 Bobbitt A, Lau T-K, Fox C G. 1993. Integrating multidisciplinary data sets from the Juan de Fuca Ridge using geographic information systems. EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 74:88

10 Bushing W W. 1997. GIS-based gap analysis of an existing marine reserve network around Santa Catalina Island. Marine Geodesy, 20(2):205－234

11 Caswell D A. 1992. GIS: The "big picture" in underwater search operations. Sea Technology, 33:40－47

12 Chavez P S, Jr., Karl H A. 1995. Detection of barrels and waste disposal sites on the seafloor using spatial variability analysis on sidescan sonar and bathymetry images. Marine Geodesy, 18:197－211

13 Coppock J T, Rhind D W. 1991. The history of GIS. In Geographical Information Systems: Principles and Applications, 1, edited by Maguire, D. J., Goodchild, M. F. and Rhind, D. W. (New York: John Wiley and Sons), 21－43

14 Cuny J E, Dunn R, Hackstadt S T, Harrop C, Hersey H, Malony A D, Toomey D R. 1997. Building domain-specific environments for computational science: A case study in seismic tomography. International Journal of Supercomputer Applications, 11:1－21, http://www.cs.uoregon.edu/~harrop/papers/ETPSC96/

15 Dimmestol T, Lucas A. 1992. Integrating GIS with ocean models to simulate and visualize spills. In 4th Scandinavian Research Conference on GIS (Helsinki, Finland), 1－17

16 Drutman C, Rauenzahn K A. 1994. Marine geophysics modeling with geographic information systems. In Oceans 94 (Brest, France: IEEE), 528－531

17 Fenzhen Su, Chenghu Zhou, Quanqin Shao, et al. 2000. Analysis of Spatio-temporal Fluctuations of East China Sea Fishery Resources Using GIS. Rodriguez G R, Brebbia C A: Environmental Coastal Regions III. Southampton: WIT Press, 249－257

18 Fenzhen Su, Chenghu Zhou, Quanqin Shao, et al. 2000. Analysis for Spatial Heterogeneity of East China Sea Fishery Resources Using GIS Based on Semivariogram. Bruce Phillips, Bernard A. Megrey, and Yingqi Zhou, Proceedings of the Third World Fisheries Congress. Maryland: American Fisheries Society. 2003.

19 Gold C M, Condal A R. 1995. A spatial data structure integrating GIS and simulation in a marine environment.

Marine Geodesy,18:213 - 228

20 Goodchild M F. 1992. Geographical information science. International Journal of Geographical Information Systems,6:31 - 45

21 Hall R K,Ota A Y,Hashimoto J Y. 1995. Geographical information systems (GIS) to manage oceanographic data for site designation and site monitoring. Marine Geodesy,18:161 - 171

22 Hamre T. 1993. User requirement specification for a marine information system,Technical Report 74 (Nansen Environmental and Remote Sensing Center)

23 Hansen W,Goldsmith V,Clarke K,Bokuniewicz H. 1991. Development of a hierarchical,variable scale marine geographic information system to monitor water quality in the New York Bight. In GIS/LIS91 Proceedings (Atlanta,Georgia:ACSM-ASPRS-URISA-AM/FM),730 - 739

24 Harding J,MacNab R,Varma H,Hart J. 2000. The HH Code: The management, manipulation and visualization of bathymetric data. In:A. Pink ed. Integrated Coastal Zone Management. London:ICG Publishing. 71 - 76

25 Hatcher G. 1992. A Geographic Information System as a Data Management Tool for Seafloor Mapping (Master's Thesis,University of Rhode Island,Narragansett,Rhode Island)

26 Keller C P,Gowan R F,Dolling A. 1991. Marine spatio-temporal GIS. In The Canadian Conference on GIS '91 Proceedings (Ottawa),345 - 358

27 Kollias V J,Voliotis A. 1991. Fuzzy reasoning in the development of geographic information systems FRSIS:a prototype soil information system with fuzzy retrieval capabilities. International Journal of Geographic Information Systems,5(3):209 - 233

28 Kracker L M. 1999. The geography of fish:the use of remote sensing and spatial analysis tools in fisheries research. Professional Geographer,51(3):440 - 450

29 Langran G,Kall D J. 1991. Processing EEZ Data in a marine geographic information system. In 1991 EEZ Symposium on Mapping and Research,Portland,Oregon,edited by Lockwood,M. and McGregor,B. A. (Portland,Oregon:U. S. Geological Survey Circular 1092),127 - 129

30 Leung Y,Leung K S. 1993. An intelligent expert system shell for knowledge-bases geographic information systems:the tools and some applications. International Journal of Geographic Information Systems,7(3):189 - 213

31 Li R,Saxena N K. 1993. Development of an integrated marine geographic information system. Marine Geodesy, 16,293 - 307

32 Li R,Qian L,Blais J A R. 1995. A hypergraph-based conceptual model for bathymetric and related data management. Marine Geodesy,18:173 - 182

33 Lucas A,Abbedissen M B,Budgell W P. 1994. A spatial metadata management system for ocean applications:Requirements analysis. In ISPRS Working Group II/2 Workshop on the Requirements for Integrated GIS (New Orleans,Louisiana),1 - 13

34 MacDonald I R,Best S E,Lee C S. 1992. Biogeochemical processes at natural oil seeps in the Gulf of Mexico: Field-trials of a small-area benthic imaging system (SABIS). In First Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments (New Orleans,Louisiana),1 - 7

35 Manley T O,Tallet J A. 1990. Volumetric visualization:an effective use of GIS technology in the field of oceanography. Oceanography,3(1):23 - 29

36 Mason D C,O'Conaill M A,Bell S B M. 1994. Handling four-dimensional geo-referenced data in environmental GIS. International Journal of Geographical Information Systems,8:191 - 215

37 Meaden G J. 2000. Applications of GIS to fisheries management. In:D. Wright and D. Bartlett ed. Marine and Coastal geographic information systems. London:Taylor & Francis. 205 - 206

38 Meaille R,Wald J. 1990. A geographic information system for some Mediterranean benthic communities. International Journal of Geographic Information Systems,4(1):79 - 86

39 MRJ Inc. 1993. Marine Data Sampler (Oakton,Virginia:MRJ,Inc.)

40 Palmer H,Pruett L. 1999. GIS applications to maritime boundary delimitation,In:D. Wright and D. Bartlett ed.

Marine and Coastal geographic information systems. London: Taylor & Francis. ,Chapter 21

41 Raper J F. 2000. Multidimensional Geographic Information Science. London: Taylor & Francis

42 Raper J. 1999. 2. 5-and 3-D GIS for coastal geomorphology, In: D. Wright and D. Bartlett ed. Marine and Coastal geographic information systems. London: Taylor & Francis. ,Chapter 9

43 Robinson G R. 1991. The UK digital Marine Atlas Project: An evolutionary approach towards a Marine Information System. International Hydrographic Review, 68: 39 - 51

44 Schneider D C, Bult T, Gregory R S, et al. 1999. Mortality, movement and body size: Critical scales for Atlantic Cod(Gadus morhua) in the northwest Atlantic. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 56(Supp): 180 - 187

45 Skidmore J, Sottile M, Cuny J, Malony A. 1998. A prototype notebook-based environment for computational tools. In Proceedings, Supercomputing 98, Orlando, Florida (Piscataway, New Jersey: IEEE), pp. 1 - 13. http://www. csi. uoregon/edu/nacse/vine/pub/sc98. html

46 Su Y. 1999. A user-friendly marine GIS for multi-dimensional visualisation, In: D. Wright and D. Bartlett ed. Marine and Coastal geographic information systems. London: Taylor & Francis. ,Chapter 16

47 Trathan P. 1993. Ecological and Oceanographic relationships in the southern ocean. GIS Europe, 2(6): 34 - 36.

48 Tri†anes J A, Cotos J M, Tobar A, Arias J. 1994. A geographic information system for operational use in pelagic fisheries-FIS. In Oceans 94, Brest, France (Brest, France: IEEE), 532 - 535

49 Varma H. 2000. Applying spatio-temporal concepts to correlative data analysis. In: D. Wright and D. Bartlett ed. Marine and Coastal Geographical Information Systems. London: Taylor & Francis. 75 - 93

50 Wright D J. 1994. From Pattern to Process on the Deep Ocean Floor: A Geographic Information System Approach (Ph. D. , University of California, Santa Barbara, California)

51 Wright D J. 1999. Spatial reasoning for marine geology and geophysics, In: D. Wright and D. Bartlett ed. Marine and Coastal geographic information systems. London: Taylor & Francis. ,Chapter 8

52 Wright D J. 1999. Down to the sea in ships: The emergence of marine GIS, In: D. Wright and D. Bartlett ed. Marine and Coastal geographic information systems. London: Taylor & Francis. ,Chapter 1

53 Wright D J, Haymon R M, Fornari D J. 1995. Crustal fissuring and its relationship to magmatic and hydrothermal processes on the East Pacific Rise crest (9°12′- 9°54′N). Journal of Geophysical Research, 100: 6 097 - 6 120

54 Yunyan Du, Chenghu Zhou, Quanqin Shao, et al. 2000. Spatio-Temporal Patterns from Ocean Fishery Dataset in East China Sea Using Spatial Cluster. Bruce Phillips, Bernard A. Megrey, and Yingqi Zhou, Proceedings of the Third World Fisheries Congress. Maryland: American Fisheries Society. 2003

第2章 时空过程与MGIS定位

2.1 时空过程

传统GIS只能以静态的方式表现现实世界(Egenhofer,1999),是对地理空间“状态”的描述、操作和分析. 由此许多研究者对时态地理信息系统(TGIS)进行了研究。TGIS把改变地理空间状态的“事件”纳入了它的研究范围(林广发等 2002;陈军 1999;吴信才 2002)。而海洋世界永远处于不断变化中,需要处理的是海洋动态现象,要完整地表达和分析海洋动态现象的特征与变化规律,必须使GIS具备对海洋现象过程的管理、处理和分析能力。亦即海洋GIS需要将“过程”纳入其研究范围。由此仅仅利用传统GIS和TGIS的理论和技术是不够的,有必要对海洋GIS中若干概念进行必要的分析,作为海洋GIS构建的理论技术基础。

2.1.1 GIS与时间

地理信息系统延续地理学经典的关注空间的理念,相对而言比较少考虑时间的概念,正如哈特向所说,“根据历史发展来研究区域地理是不必要的……,它不能变成历史学”(哈特向,Hartshorne 1939;大卫·哈维 1971)。

传统GIS发展于陆地应用,通常关注的是当前的空间分布状况,或有限少数个时刻的空间状态,不涉及时空的连续过程。状态的研究,导致时间没有起点没有终点,也就没有顺序和方向,只有时间的绝对度量而没有时间的相对度量。

只有当时间与过程相连时,才有时间问题,只有过程才使时间具有顺序和方向。由此MGIS中的时间是与过程相连的度量,没有过程,时间就在MGIS中失去意义。换言之,MGIS中时间应从过程的角度来估计,而不仅仅单纯的由格林尼治时间来度量的量。

尽管时间与过程一起表现出其连续性与不可逆性,但在MGIS中时间与过程一起是可以被重复和模拟的。

MGIS中过程是对现实海洋的模拟、记录或抽象,与现实过程一样是一个尺度概念。复合在过程中的时间也是一个尺度概念。不同的过程对应不同的时间尺度。

MGIS中的时间表现有多种模式,将过程作为一个有序空间状态列来记录;也可用改变空间状态的一个时空事件有序列来记录;可以记录过程进化模式,周期模式等;模式可以是统计的也可以是机理的。最恰当的方式是依科学应用目的而确定其过程的存储、表达与处理的方式。

2.1.2 时空过程

1. 时空与过程

我们知道，时间与空间是一对表征物质能量存在方式与变化方式的密不可分的范畴。空间指物质能量存在与变化的广延性；时间是物质能量存在和变化的持续性和顺序性。为了便于叙述，我们暂且将 MGIS 中的时空分为：现实时空、思维时空和虚拟时空。

海洋时空是海洋物质、能量、信息的数量及过程在海洋范畴中的广延性存在形式。MGIS 所表现的时空是一种数字虚拟时空，即利用 GIS 理论与技术方法，在数字世界中对海洋现实时空进行符合人们思维时空理念的一种抽象。这一时空通过海洋现象或海洋过程进行填充。由此 MGIS 中海洋时空与海洋过程也是复合在一起的。海洋过程在 MGIS 中是海洋中物质能量的形态、结构、过程、关系、功能的分布方式和分布格局在时空中抽象的动态图景。

海洋时空是海洋地理信息系统基本核心概念之一，其主要用于表达：①海洋中各现象在时空中宏观分异规律与微观变化特征；②海洋中各现象在时空中的分布形态、分布方式和分布格局；③海洋各现象在时空中互相作用、互相影响的特点；④海洋过程在时空中所表现的基本关系以及此种关系随时空拓扑关系变化的状况；⑤海洋现象的时空效应特征；⑥海洋现象的时空充填原理及规则；⑦海洋现象的时空行为表现；⑧海洋时空对于物质、能量和信息的再分配问题；⑨海洋现象的时空耦合；⑩海洋时空优化及区位选择等。

2. 海洋时空过程

MGIS 中的海洋过程是一个逻辑缩小的、高度信息化的对象，从视觉、计量和逻辑上对过程对象在功能形态等方面进行模拟，信息的流动以及信息流动的结果，完全由计算机程序的运行和数据的变换来仿真。研究者可以在 MGIS 支持下提取海洋现象或过程的各不同侧面、不同层次的空间和时间特征，也可以快速地模拟海洋过程的演变或思维过程的结果。

MGIS 中强调海洋中各种要素场及其特征随时间的变化特征。在可感知的和可测量的基础上，按照一定的时空粒度，建立依照时序各类海洋及其相关性质的动态表现或规律。过程的组织与处理的目的在于：①认识有限时段内的变化规律。在一定的时间间隔内，尽可能详尽地纪录现象的依时行为，从中发现现象变化规律，以便作为推测该时段之前或之后的变化状况；②对于未来可能发生的行为进行模拟和预测。这是过程研究的最高层次，也是海洋地理信息系统科学技术性与实用性的集中体现；③研究过程与过程间、过程与事件间、过程与状态间的耦合关系，从而把规律统一于时间与空间的共同基础之中。

3. 过程的时空结构

组成过程的各个事物，在数量上的比例、空间中的格局以及时间上的联系方式。表示过程内部各事物间的关系。通常反映在以下几个主要方面：①物质的时空组成。各组成成分的时空分配状况，各组成单位的时空概率变动特征，各组成要素的时空联系程度

与联系方式；②能量的时空组成。包括能量在时空中的状态、表现方式、传输方式、组成情形等；③时空表现。过程中各事物的层次、等级和联系，各实体的分布，各现象的时空格局与联系方式等；物质能量的时空流向，过程在时空中的非均匀速率组合等。

4. 过程的时空效应

由于海洋时空结构的差异和时空格局的变换等时空原因所引起的海洋系统中物质、能量、信息的再分配现象和传输复杂化现象。表示为以下几个主要方面：①海洋过程于物质、能量的再分配作用；②因海洋时空不均衡而引起的物质能量流，随距中心位置的变化而有不同的表现；③由于时空的原因，使资源分布呈现时空异质性；④由于海洋时空所致的研究与开发行为问题；⑤时空场的形成、表现及影响；⑥非均衡时空中能量、物质和移动的规律。

2.1.3 MGIS的时空框架

1. MGIS的空间框架

传统GIS工作一般是建立在某张平面底图上，底图一旦确定，后续工作必须在此基础上进行，这对于研究固定在某一空间范围内是合适的。一旦研究区域涉及全球，比如环流，一张底图将把空间人为的割裂开来。由此海洋地理信息系统中的空间框架是基于地球真实的球体。其表面是连续的，不可中断的。

2. MGIS结构

MGIS所要处理的是海洋时空过程，是空间数据在时间上的乘积，如此，其数据量是海量的。海洋中的过程类型多，其分析方法庞杂，如此，其模型应用多样，标准化困难。海洋现象多样且动态、分析结果各异，如此，其前端显示与表达工作相对于过去GIS须具有更多的功能。由此MGIS的结构应符合三层体系结构，如图2-1。过程引擎完成过程的上传和下载。操作层完成逻辑计算并完成与外部模型的通信。客户端完成人机交互的接口，包括通过网络的交互。

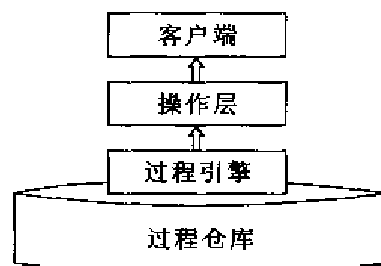


图2-1 MGIS结构

3. MGIS中的过程仓库

传统GIS的数据库是对空间状态的记录和管理，在MGIS中实现的是对过程的记录和管理。为了便于记录和继承现有的数据库技术，在系统内物理记录的数据将仍然是空间瞬时的状态数据，但对这些数据在逻辑上已经不是对时空过程的割裂，而是时空过程或过程链。过程仓库的管理完成时空过程重组、查询、检索等功能。

2.1.4 MGIS中的时空功能

MGIS需要提供实现海洋过程逻辑思维的技术手段，也要提供实现海洋过程形象思维的技术表现。逻辑思维的实现借助于对过程的建模、操作流程和计算；形象思维的实现主要借助于时空过程的可视化，时空导航等。形象思维完成对海洋现象和过程的定性分析并形成整体性时空概念，逻辑思维完成对海洋现象和过程的定量分析，为概念和理

论的提出进行验证和演绎。为实现这两种技术方法,需要解决对时空过程数据模型的构建,实现对时空过程的有效的管理。

1. 时空过程管理

MGIS 完成对过程数据的管理,这些数据不再是相互割裂的,而是把海洋客观世界抽象为模型化的过程数据,用户可以按应用的目的观测这个现实世界模型的各个方面的内容,取得自然过程的分析和预测的信息,用于管理和决策,这就是海洋地理信息系统的意义。

在对海洋时空过程进行处理、操作、分析和显示时,需要提取所需的数据。海洋处于动态当中,其任何时刻都是全新的。那么问题是如何对过程进行描述,以及过程的上传和下载。如何才能只对处理或屏幕显示内的时空数据进行处理或与数据库的交互,成为突出问题。

2. 时空过程可视化

MGIS 可视化将抽象的数据信息转化为静态或动态的图形图像,以便研究者能够观察其模拟和计算的过程和结果。可视化包括图像的理解和综合,用来解释图像数据和根据复杂的多维数据生成图像。它主要研究人和计算机怎样协调一致地接受、使用和交流视觉信息。(McCormick et al. 1987)

海洋模式计算等海洋分析处理方法往往需要对大量的海洋数据进行处理,在处理过程中往往"不可见",被迫被动地等待最终结果,然后利用各种制图软件,将结果用图像图形的形式表达出来。这种流程不容易发现计算环节中的错误或不恰当,导致后续计算的大量浪费。

可视化是专业研究提出假设、检验结果的重要途径,由于海洋过程的多维性,需要考虑针对不同维设计不同的可视化算法和表现方法。主要有多窗口显示、过程动态演进、时间剖面等,并可在此方式下实现对时空过程的缩放、平移、旋转、变换视角、剪切等。

传统地理信息系统用精确的点线面来显示地物的空间存在,海洋上主要要表达的是浪、潮、流、温、盐、密、声、光、电等属性在时空中的变化。通过 MGIS 为这些属性提供一个具有时空参照的显示环境。

MGIS 实现对海洋中时空过程及其关系的数值化模拟,使用户对于在时空中各时空过程有一个非常直观的感受。无论是在屏幕上展示一个可以无级缩放和信息查询的海表温变化过程,还是展现一个剖面的时间动态过程,都使我们对海洋现实世界现象的时空关系认识更为直观、具体。

3. 时空过程导航

1)时空插值

为实现无缝的一个时空过程,有时需要对时空上分布不均匀的数据进行插值从而获得时空尺度一致的一个时空过程;时空大粒度的数据需要进行时空插值从而获得更小时空粒度的数据。

插值方法主要可以从几个方面进行考虑:①空间不同,其要素的时间变化特性不同。因此对不同的空间要独自进行时间轴上的拟合,从而实现时间的插值。②时间不同,其

要素的空间变化不同。对同一区域的不同时间采用不同的空间拟合是恰当的。③时间与空间同时考虑，即三维空间上某点的值，除用同一时间的周围点作为输入外，同时考虑不同时间的周围点作为输入。这除了时空统计的方法外，可以利用海洋动力方程的方式来实现海洋过程的时空内插。

2)时空聚合

利用MGIS不仅可以纵览研究区域的全时空域，还可以利用缩放和漫游等基本功能深入到我们更感兴趣的时空中去研究。在时空比例尺不断增大的同时，所展现的时空信息内容会不断更新。MGIS能够完成对全局、局部和细部的查看，比如可以查看整个海区某年的平均海温，进而该海区不同区域不同层每月的海温变化，乃至每公里海域多层每昼夜的海温变化等。

3)时空导航

时空导航完成过程的时空尺度交换，在航行中，实现图像图形的任意时空比例尺的无级操作，在航行中浏览不同时空粒度中过程的不同详细程度的表现，而不是只有时空粒度的改变而无特征或规律的尺度变化。

利用时空导航，可以直观了解时空过程的生消演变和相互间关系，可以了解蕴涵在过程数据间的知识，支持研究者完成"视觉—心象—形象思维—创新"的认知过程，这也是时空数据挖掘的过程可视化方法。

4. 过程特征化

遥感图像的急剧增加，全球各种现场观测计划的推进，使得目前许多数据没有被利用。而有时整个海洋时空中所获取的这些原始数据并不是海洋工作者所真正关心和需要的，真正需要的是这些数据所反映的海洋过程的机理与特性。从这些数据中生成海洋时空过程的各种特征不是海况的单纯复制，而是可以反映海况又高于数据的一种信息载体。它不是一种简单的图形化或数值统计，而是所获数据全体的浓缩，是这些数据所反映的过程的本质。从这个意义上来说这些过程的特征才是海洋现象客观的更真实的反映。

另一方面，时空过程的特征化为过程的处理分析和可视化提供了便利。比如可以减少数据量，加快处理分析和可视化的速度；容易抓住问题的本质，有利于进行时空过程的形象思维；有利于进行特征之上的形式逻辑处理与分析，完成用户的时空过程思维。

时空过程特征化的过程也是完成时空过程逻辑思维的过程，所获取的过程特征若用图表等可视形式表达出来，则成为完成形象思维的一个手段。

5. 时空过程对象化

其内涵是由计算机程序和时空数据组织而成的时空过程信息模型。利用现代计算机理论与技术方法将海洋时空过程利用对象的概念实现对它进行描述，包括空间形态和物理属性的描述。每种过程对象有其相连的本身自然特性，也包含人们认知中的各种功能特征，还包括人类时空思维所要进行的时空逻辑操作。

另一方面，时空过程对象化是基于时空过程特征化之上的概念。对时空进行特征化后，一些相互联系、相互制约的特征组合成时空过程对象，为进一步的形象思维或逻辑思维准备操作的对象。

6. 时空过程逻辑思维

MGIS 为用户提供时空过程思维的工具，使人脑的思维过程用计算机的逻辑计算与推理进行实现和验证。MGIS 的时空数据仓库中存储各时空过程的时间、空间与属性描述信息的同时，还存储了过程间的时空关系，这一特点为进行时空分析提供了基础。MGIS 中的所提供的时空思维，就是要利用 MGIS 数据仓库中已经存储的信息，通过 MGIS 的工具(例如时空缓冲区分析、时空叠置分析)，生成 MGIS 时空数据并存储在时空数据仓库中。

MGIS 将许多时空分析工具集成起来，并提供二次开发工具。用户借助 MGIS 进行时空思维时，将各种分析工具按所研究领域的专业模型组织成一个处理序列，交由 MGIS 完成，最后提供过程、时间或空间可视化的分析结果。MGIS 所提供的空间思维功能使用户可视地完成其时空思维，从而能够揭示过程间相互关系、过程中的时空分布与发展趋势。

经常地，过程间的相互关系表现为一种因果关系。许多现象或过程是一个过程或一组过程并且在其他相应条件下作用的结果。这种结果有可能再转化为原因，既影响将要获得的新结果，也改造先期影响结果的原因。由此研究过程间因果关系与机制也是 MGIS 的重要目的之一(苏奋振 2002a，b)，比如水温过程的时空配置制约渔场形成的机制研究，对于海洋渔业资源的可持续利用具有重要意义。

时空过程的逻辑思维过程在 MGIS 也是可视的，即对过程对象的操作是可见的。可视化是前端的部分，计算是后端进行的形式逻辑过程。

7. 时空符号化

符号化完成对海洋温、盐、密、浪、潮、流、声、光、电自然或人为分析结果的前端符号表达。需要将海洋环境的信息集合起来，并且对各现象加以理性的概念化，求得在物理属性、力学属性、化学属性、生物属性等方面的尽可能相似，最终加以高度概括成各种方式的抽象符号。

任何一个海洋现象的表达符号，都表征着对一现象的本质描述，既标志着对现象的认识深度，也标志着对现象的概括能力，从这个意义上看，一个符号的设置代表着一种理解程度。在建立符号体系时，必须遵守以下原则：①相似性。即在一定允许的近似程度内，可确切地反映海洋现象或过程的客观本质；②抽象性。即在充分认识客体的前提下，总结出更深层次的符合人类认知习惯的理性表达；③简捷性。既是客体的抽象，又必须是客体的简化，以便降低求解难度；④精密性。即必须使符号的表达具有必要的精确度，它反映了客体的某种实际；⑤易生成性。即计算机容易生成，并容易复合在海洋时空中。

2.1.5 MGIS 解决的问题

总之，MGIS 的功能必须满足以下一些问题的解决：

(1)过程的发生在何时何地(定位问题)、如何生消演变(怎么的问题)；

(2)哪些地方符合特定时空条件(条件问题)

(3)过程相互间如何影响(因果问题)

(4)过程的时空配置如何(模式问题)

(5)给定条件过程将如何演化(模拟问题)等。

如此,MGIS 可以在以下几方面得到应用:①海洋业务部门;②海洋管理部门;③海洋研究部门;④海洋产业部门。

2.2 海洋 GIS 定位与框架

回顾地理信息系统的发展,一般是各关键理论、技术研究与专业应用工作先行。关键理论技术的研究使研究工作能够有的放矢,各个击破。各专业应用为 GIS 理论与技术的研究提出问题,并检验理论与技术的有效性和可靠性。海洋 GIS 的发展也不例外,随着各关键技术的突破,已经可以尝试搭建整个海洋 GIS 平台;同时从各海洋专业的应用中,也大体可以形成通用技术平台的轮廓。为此,本节对过去的研究和应用进行归纳和反思,从而定义海洋 GIS 的普遍需求和基础框架,为海洋 GIS 的基础理论研究和技术开发提供参考。

2.2.1 海洋 GIS 的定位

海洋中各要素及其动力因素均是一个在时空中连续的场分布,用 GIS 的观点是一个具有模糊过度的时空分布,由此栅格的表达和计算在客观上要比矢量更为方便和接近现实。

另一方面,正如前面提到的,海洋数据采集技术已得到飞速发展,已造成数据的爆炸,而这些数据将有大量是栅格数据,如航天遥感器、多波束回声仪等,或可以转变为栅格的数据,如大量的传统海测数据,如断面、船舶报、ADCP、ARGO 等,而这样的栅格数据将愈来愈多。

海洋遥感的主要任务之一是从遥感能量图中反演海洋的要素场,如海温、叶绿素、黄色物质等。而对这些反演数据的分析工作一直未受到足够的重视,特别是多要素多数据复合分析的研究和技术解决探讨得不够。目前国际上在专题信息提取后一般是海洋专家采用目视分析方法提取、分析海洋结构特征。面对数据的剧增,应用的跨专业,海洋现象结构特征的智能化提取成为迫切需求。而已有的海洋信息反演技术为进一步的分析及其特征提取奠定了坚实的技术前提。

研究海洋,则有必要考虑海洋动力模式,海洋 GIS 将为海洋动力模式提供数据获取的便利和运算环境的可视化。

为此有必要对海洋 GIS 在海洋科学技术体系中的位置作一定位。我们可以暂且将海洋 GIS 定义为是对观测数据或信息(包括遥感反演的信息)的一个管理、处理及其可视化的平台或容器,即将海洋 GIS 定位在图 2-2 中的粗线框中。从而适应新型海洋监测技术的不断应用和国际互联网的迅猛发展,适应以指数形式增长的海洋信息量。

海洋 GIS 的最终目的是为海洋工作者提供可选择的、适当的方式,以分析处理海量数据,提取有价值信息,并通过对海洋信息的分析、综合、归纳、演绎及科学抽象等方法,

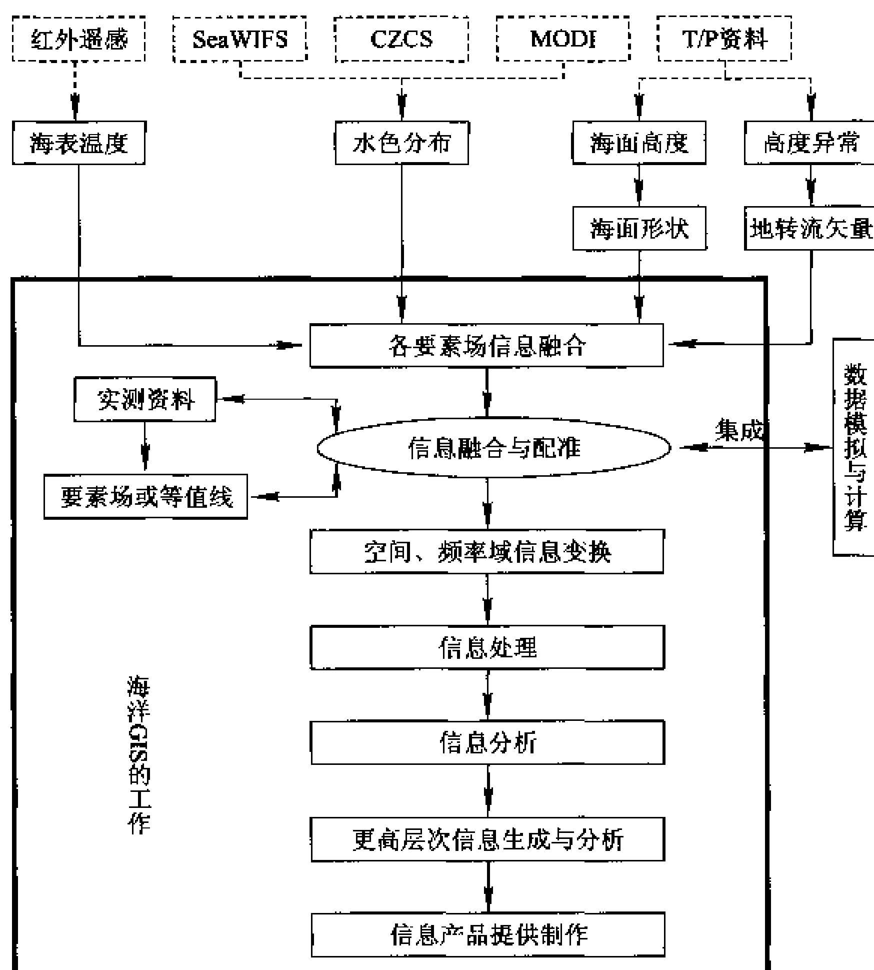


图 2－2　海洋地理信息系统定位

研究海洋系统的结构和功能，揭示并再认识海洋现象的各种规律。换言之，海洋 GIS 技术应该起的作用是处理、显示和开发海洋信息，包括对海洋现象空间形态的表达、进行符合海洋要素数据特点的综合信息管理、智能化海洋遥感信息分析与专题信息提取、动态现象的时序特征分析，以及现象的尺度精度评估等方面，为海洋信息科学的管理、分析和应用提供强有力的工具。

2.2.2　海洋 GIS 的功能需求

既然我们把海洋 GIS 的定位在对海洋测量数据、遥感反演数据、数值模型输出数据的管理、集成、分析、提炼的框架内。那么有必要了解在没有海洋 GIS 的情况下，此方面海洋工作是如何开展的。为了便于说明，以分析某些海洋动力特征，如锋面，跃层或水团等为例，如图 2－3。更为广泛地，我们所说的特征不仅是可以用点线面体来表达其时空位置的几何特征，还包括可以用于表征该数据的统计分析特征，如场要素分布的统计分析描述，及其频率域的特征等。

在此过程中有如下几个问题可以用计算机来代替完成，并且在相对于手工处理更具有严格统一的标准，避免不同处理者有不同的标准，避免同一处理者在不同的时次有不同的标准。由此可以将图 2－3 改为图 2－4。其中主要存在以下几个方面的需求：

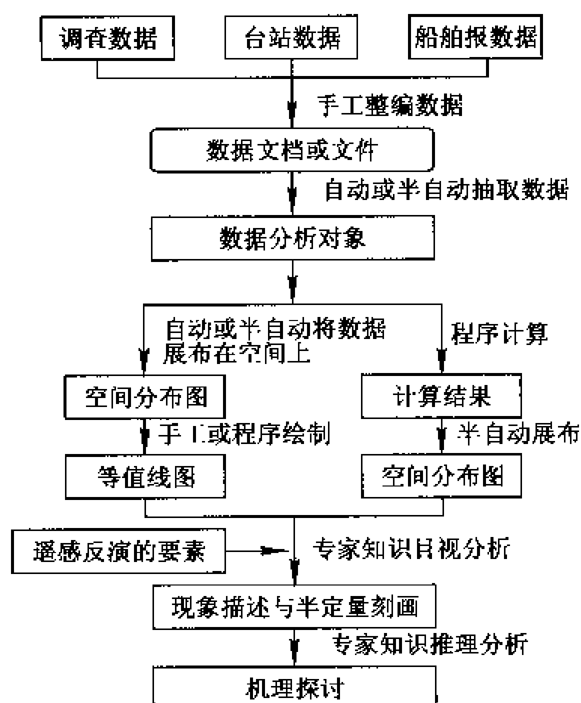


图 2-3　常规提取海洋特征信息流程

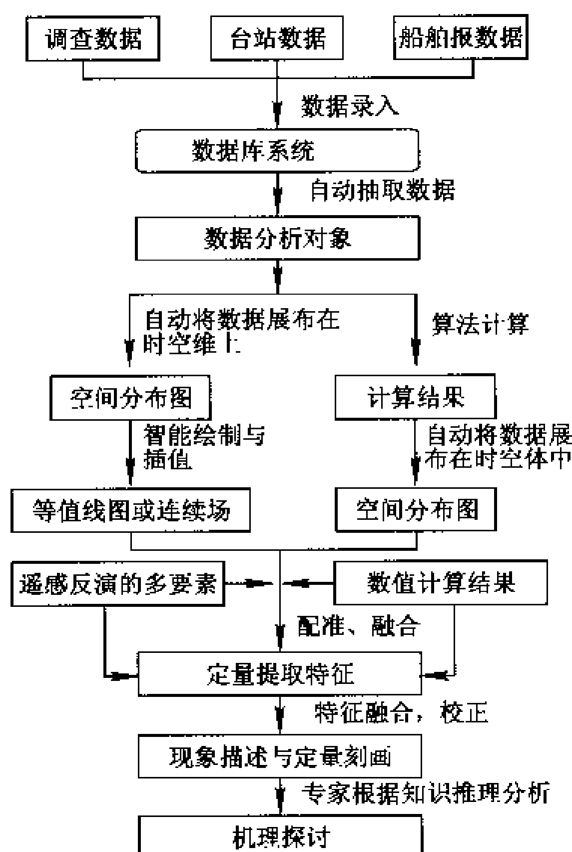


图 2-4　海洋 GIS 提取特征流程图

(1)统一框架:将各种海洋现场测量数据(表格和文本)、遥感数据(栅格)和矢量数据融合为统一标准的数据集。如一定数据质量的同期或准同期的一定空间范围的数据集；具有统一的投影或高程等基准。

(2)场生成:评估数据质量,对缺失数据进行插补,从而为下一步分析准备数据。

(3)场运算:包括空间域运算,如对栅格数据的基本运算与操作,绘制等值线等;频率域运算,如 EOF 变换、傅里叶变换、小波分析等;专业运算,如温锋、涡旋、水团的提取与划分等。

(4)多维分析:发展多维分析方法,或对之降维处理。

(5)输出:对原始数据和分析结果用有效的方式表现出来,以利于人眼的判读与分辨。如利用恰当颜色和符号,及其动态。

2.2.3　整体功能框架定义

更为普遍地,可以构造出海洋 GIS 的整体功能构架。从总体来说,海洋 GIS 基础平台处理分析海洋数据的流程(构成)包括:数据输入与抽取、数据操作与分析、海洋特征提取、结果输出。其中每一部分又可细分如图的右侧对应部分。

以下将对图 2-5 右侧的各组成部分做简要的论述。

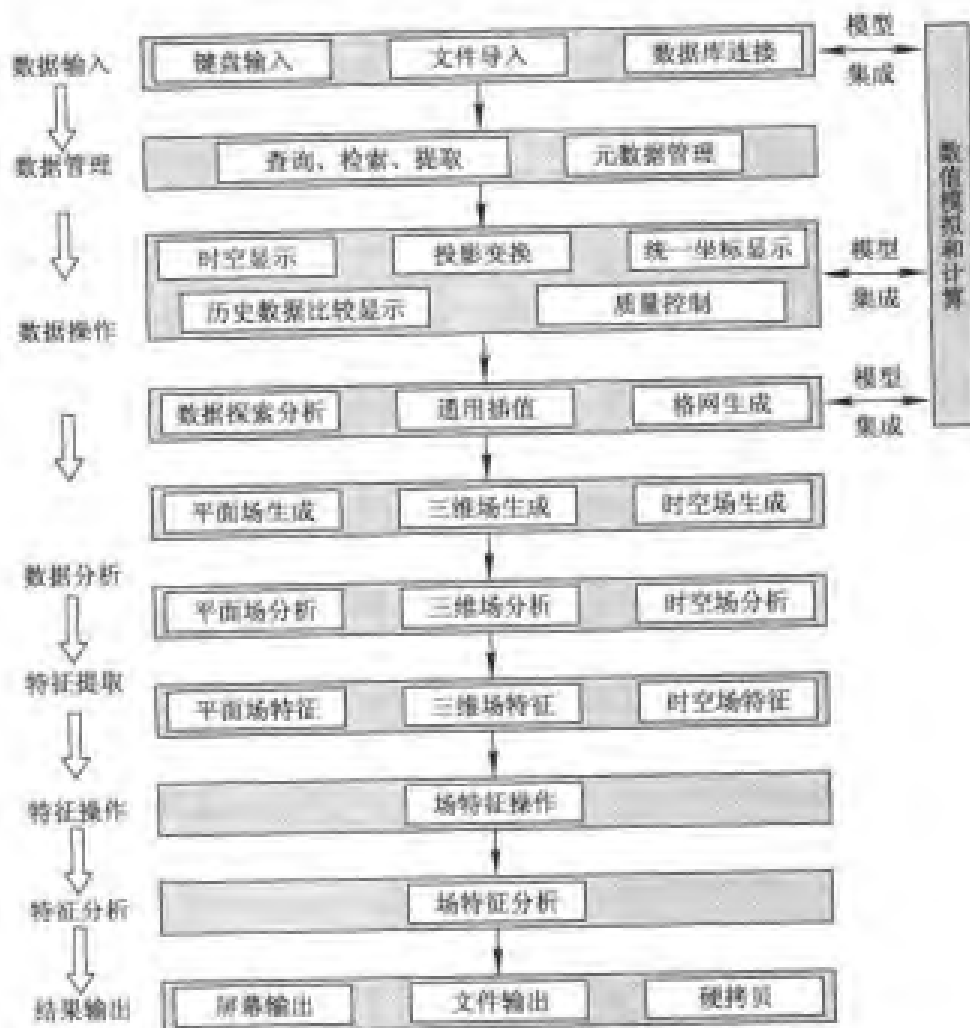


图 2-5　MGIS 基础平台功能构成

1. 数据输入、抽取和操作

(1)数据输入，包括海洋测量数据(表格和文本)、遥感数据(栅格)和矢量数据。输入方式包括键盘录入、文件导入、数据库连接和模式集成。

(2)可对数据进行选区操作(鼠标或键盘输入范围)，可处理单个或批处理，可生成动态播放文件。

(3)数据查询与提取，从数据库中(零散的)数据中抽取所需特定时间和空间范围的数据集。

(4)对缺失数据进行插补，并对数据的质量进行评估。

(5)可快速将空间位置平移或转换，比如通过若干对应点进行仿射变化。

(6)具有精确数学意义的投影变换。

(7)高程基准的统一。

2. 模式集成

GIS 在将地图与计算模型相连或链接其他平台的程序方面功能强大，在陆地应用较为丰富，比如陆地过程模型：地下水污染模型，气象模型，水土流失方程，表面水文模型；

社会经济模型：模拟商业网点影响，模拟疾病和日用品的流行等。针对海洋 GIS，其模型集成暂且考虑：

(1)GIS 理论与技术还对海洋缺乏研究和理解的情况下，最为直接的集成是将传统的数值模型与 GIS 进行松散的集成。利用 GIS 可视化输入模型的初始场和边界数据，由 GIS 实时可视化输出模型运算结果，并按时间动态显示。其中参数和数据在 GIS 与模型中的传递采用文件的方式。

(2)利用 GIS 生成模型所需网格及初始场。

(3)将一系列模型利用 GIS 联系为一个科学逻辑过程。

(4)动力系统边界问题处理，即海洋 GIS 提供栅格系统处理边界的算法或方式。

3. 插值功能

相对于数据的爆炸，在一定时空范围内又往往缺乏数据，特别是对次表层以下。那么海洋 GIS 需要提供丰富的插值选择，包括：

(1)成熟算法，包括距离反比法、趋势面法、克里格插值；

(2)适合海洋的插值方法，比如利用背景知识或历史平均趋势智能进行空间插值，利用时间序列和空间分布进行时空插值。

(3)线型插值，即对一线上系列点及其要素，在这些点的连线缓冲区内，进行等值线绘制。其插值方法可选择：两点、三点、四点、五点；一次、两次、多次三维插值。

4. 探索性数据分析

海洋科学传统上存在大量的是海上实测数据，其中常见数据种类有：台站数据(包括河口水文站)、船舶报数据、断面测量数据、ADCP 测量数据和浮标数据(包括 ARGO)。海洋 GIS 为此提供的数据分析功能包括：

(1)质量控制和插值，比如对多年同期数据可进行面上插值等，以及线形插值等。

(2)特定区域数据统计和过程曲线绘制。包括过程曲线动态，即在各选定区域上(或站位上)显示要素值的过程曲线(静态和动态)，动态时间间隔和起止可选。除按空间位置显示外，可选择将各区域过程曲线显示在同一弹出窗口上，不同区域过程曲线用不同颜色表示，且随时间画出。若时间系列太长，则使时间滚动，或即时将若干时段前的过程线左移动。考虑到有些时间序列很长，且有时需要分析不同时间尺度的规律，故提供过程线的无级缩放，缩放过程对数据的选取，可选取中数、平均数、或极值等。

(3)对多区域或多点位，选定要素项(单项或多项)进行动态显示：比如柱状图动态，即在各空间位置上显示要素值的柱状图，高度随时间变化，时间间隔和起止可选。除按空间位置显示外，可选择将它们显示在同一弹出窗口上，处于同一水平线上，以便比较。

(4)对有纵深的测量，比如断面数据，除上面的功能外，还应具备：

①单个空间位置看，是有深度的一系列测点组成，可选取空间上的点，绘制其要素图，并计算其密度和声学特征曲线，并可选择是否画入图中。同时可选是否计算其曲线特征：拐点、驻点及相互间距离(如衡量跃层厚度)，及要素值与距离的比值(用于衡量要素变化率，如跃层强度)。

②从整条测线来看，是一个在剖面上的较为规则的测点构成的格网，放在数据量较为充分的情况下，可绘制等值线。等值线的绘制方法可选。

③从多条测线来看，有不同深度的多层大面，每一大面上是较为规则的测点构成的格网，故在数据量较为充分的情况下，可绘制等值线。等值线的绘制方法可选。

④矢量分析，对于如 ADCP，ARGO 等数据，除以上数据分析外，提供矢量场的插值与绘制、方向概率统计、矢量场时间序列动态显示、单点矢量的时间轴显示等。

5. 场分析

正如前述，海洋 GIS 是以栅格数据或可转换为栅格的数据为处理对象的工具或容器，为此栅格处理和分析算法是丰富和灵活的，从简单到复杂包括基本算子、栅格运算、分类处理、梯度运算和空间分析等。

1)基本算子

主要是对栅格中单元进行基本运算，只涉及每个栅格的一个单元。包括①算术运算：+、-、*、/、取整、取反、取模、取余等；②布尔运算：并 AND、或 OR、非 NOT、异或 XOR；③关系运算；④位运算；⑤集合运算：CAND、COR、CXOR；⑥逻辑运算：DIFF、OVER、IN；⑦累积运算；⑧赋值运算等。

2)基本函数

(1)局部运算。输出值只取决于输入栅格的同一位置单元值。包括：

①三角、指数和对数函数等，如 SQRT()、SIN()等；

②重分类，即将栅格单元值按重分类表分类(赋值)；

③选择，按符合一定逻辑关系来选择单元，并对其进行处理；按一定空间范围来选择单元，并对其进行处理；

④统计，对输入的栅格对应的单元值统计(最大、最小、中数、平均数、方差、和、范围 range、不同值的个数)

(2)焦点运算。当前位置的输出值与周围值有关，其步骤为：

①确定邻域范围和焦点位置；

②设定权重；

③统计计算(最大、最小、中数、平均数、方差、和、范围 range、不同值的个数)。

(3)区域运算。利用输入的区域确定目标栅格中位于该区域中的单元为统计对象。将统计结果输出在这些区域上。输出栅格的属性表也可以作为统计结果的一种表达。统计量有最大、最小、中数、平均数、方差、和、范围 range、不同值的个数及区域面积或周长。

(4)全局运算。统计全局单元，然后操作，包括：

①统计：最大、最小、中数、平均数、方差、和、范围 range、不同值的个数；

②相同值的单元，划定为：同类(相连和不相连)、不同类(不相连)；

③按给定表重分类；

④按等面积划分；

⑤按等间距划分。

3)梯度计算

在场分析中，需要对场进行划分时，如水团，锋区等的分析，梯度的计算极为重要。为此需要发展梯度计算的方法，主要有以下方式：

(1)四邻域梯度计算(输出结果是四方向各自梯度，最大梯度及方向)；

(2)八邻域梯度计算(输出结果是八方向各自梯度，最大梯度及方向)；

(3)按特定方向组合的梯度计算；

(4)时间序列梯度计算(与上一时刻方向相同的梯度，才是要计算的梯度)；

(5)概率梯度计算(时间或要素序列的梯度，在概率满足一定条件时认为是要计算的梯度)。

4)分类处理

在对场进行划分时，除利用梯度外，还可以从要素值类的距离进行划分，主要有以下几种方式：监督分类；非监督分类；按直方图分类；聚类；粗集方法分类，该方法优点是一旦给定训练集，就确定了分类的精度；智能分类，按梯度边界、人机交互边界统计为依据等。

5)空间分析

对场的空间分析方法很多，主要有：空间自相关分析，包括各种空间自相关的统计，比如 Moran I 指数和 Geary c 指数等；相关分析，即计算两个栅格的相关系数，回归方程及检验；多元分析及检验；结构分析，比如变异函数分析及其理论模型拟合；多尺度分析(Multiscale Analysis)或多分辨率逼近(Multiresolution Approxmation)。

其中有必要强调小波分析(Wavelet analysis)。小波分析是传统傅里叶分析的发展，将空间域中复杂的卷积运算转换为频率域中简单代数乘积运算，其窗口随着频率增高而变窄，而且适当离散化后能构成正交系，有较好的局部化(Localization)特征。

多尺度分析这一概念的提出是小波分析理论的一大突破，它揭示了函数结构的自相似性，以及小波分析与几何分形(Fractal Geometry)的内在联系。利用多尺度分析，Daubechies 于 1988 年构造出具有紧支集和一定正则性的小波正交基，即 Daubechies 基。离散小波变换 DWT，由于可采用 Mallat 快速算法而得到了广泛的应用。

利用小波进行海洋遥感影像的特征提取，可以丰富传统的方法，对海洋的多尺度特征提取有不可代替的优点。

6. 海洋平面场几何特征分析

这里处理可以分为对离散点的分析和对连续场的分析，目的是对一些可用几何描述的海洋现象进行时空定位和定量描述其特征，比如跃层、锋面、涡旋和水团等提取。主要分析和提取的方法包括梯度判别、模式识别的自动匹配和人机交互方式，人机交互则利用图形化方式运用背景知识，通过探索性定位，计算机自动统计差异性和判别。

这里的特征提取涉及三方面的难点。首先是弱边界的问题，海洋场是连续场，不同性质的水边界是一个模糊的过渡区。其二是边界的属性变化，即在同一条边界的不同处，其判定的指标值是不一样的，换言之，特征值相同不意味着处于同一边界上。其三是噪声和数据缺失的问题，由此在特征提取的过程，要对多种情况进行判定。

7. 三维场分析

首先是完成实测数据的时空展布，从而选取研究区域及其数据对象。实测点的属性，包括时空位置、施测者、要素值(大小和方向)等，以可定义的色标和符号显示。

对数据的读入和选取，提供多种方式，比如设定研究区(鼠标划定或键盘键入坐标)，将数据从表格中读入，三维坐标上显示经纬度与深度，并显示海底和岸线；在研究区内显

示调查点和铅垂线，以及测线（测线上可标示时间和机构名称），测点上要素值按色标显示。三维坐标上显示经纬度与深度。

对数据构建用于插值的网格，比如三维 TIN，实现对数据的时空插值处理，对任意的断面和大面进行切面栅格显示，绘制等值线图。色标可按用户定义，对于地质等类别数据则在切面上显示分解线。

8. 时空场分析

时空场分析主要目的在于通过对时空体的操作和分析，从中获取时空体的特征，比如水团分布及其模糊边界、跃层的提取等，并将其显示在时空中对时间序列数据以动态变化显示，分析其时空动态的量化描述，比如速度、季节变异等。

传统 GIS 主要处理空间状态，MGIS 区别于传统 GIS 本质特点在于处理的是时空过程。由此 MGIS 时空场的操作与分析也是其发展方向和最大难点。时空场的操作与分析的出发点在于如何将时空过程在时间和空间上进行离散化，进而对时空离散的过程进行各种统计分析，比如时空过程的相互关联（苏奋振　2005），时空过程缓冲区操作、叠加分析等。

面将时空四维空间进行降维操作，比如主成分，投影等，然后利用传统 GIS 的许多二维操作和分析方法，也不适为一条折中的办法。

9. 显示

显示的目的在于更加有利于人眼的判读与分辨，故需要对显示的颜色和符号上做一些处理，以适应人的生理和心理习惯，另一方面要提供选择的工具，比如利用其他统计（概率分布、直方图等）或背景知识设定色标。时间序列的显示则提供动态显示的时空分辨率，以满足不同现象和规律的时空尺度。从可视化的角度，则提供多窗口机制，可以比较同一时空范围的不同要素场，如用于寻找各要素间的关系；同一要素在不同时空范围的分布与变化，如用于寻找不同时空范围的遥相关；同一要素的不同时空分辨率的分布和变化规律，如用于寻找现象或规律的时空尺度等。

参考文献

1　大卫·哈维著. 高永源等译. 1971. 地理学中的解释. 北京：商务印书馆

2　林广发，冯学智，王雷，都金康. 2002. 以事件为核心的面向对象时空数据模型，测绘学报，31(1)：71－76

3　苏奋振，周成虎，刘宝银，杜云艳，邵全琴. 2002. 基于海洋要素时空配置的渔场形成机制发现模型和应用. 海洋学报，24(5)

4　苏奋振，周成虎，邵全琴，杜云燕，仉天宇. 2002. 海洋渔业地理信息系统的发展、应用与前景. 水产学报，26(2)：169－174

5　苏奋振，周成虎，史文中，杜云艳. 2005. 基于粗集的环境机制发现模型及其渔业应用. 遥感学报，9(4)：398－402

6　吴信才，曹志月. 2002. 时态 GIS 的基本概念、功能及实现方法. 地球科学-中国地质大学学报，27(3)：241－245

7　Egenhofer M J, et al. 1999. Progress in computational methods for representing geographical concepts. I J GIS, 13(8)：775－796

8　Hartshorne R. 1939. The nature of geography, Chicago：

9　McCormick B H, T A DeFanti, M D Brown (ed). 1987. Visualization in Scientific Computing, Computer Graphics. 21(6)

第 3 章　海洋现象特征化及其栅格化

对于海洋现象，我们可以用定性语言描述，也可以用数值模型描述，也常用图形图像或动画来描述，GIS 则属于最后一种。对于海洋现象，在第 2 章指出，海洋地理信息系统要完成海洋现象的特征化和对象化工作。特征化正是将海洋现象抽象成 GIS 的点、线、面、体等几何图形或图像来表达。特征化涵盖的范围较广，本书仅讨论其中的关键技术之一，即与几何图形相关的特征提取，不涉及纯粹数字计算方式的特征提取或计算。从现象中提取特征，可利用相关的特征提取技术来客观地获取海洋现象的几何形态特征。在何种尺度下可以表达现象并获取其特征，是表达海洋现象和提取几何特征的基础问题，为此在讨论海洋几何形态特征提取之前，必须讨论海洋现象与时空尺度的关系。考虑到目前遥感数据的大量使用，本章还讨论了海洋现象在遥感数据中的栅格化表达与空间尺度的关系。为了防止过于抽象，本章以海洋锋为例加以说明。至于如何从遥感数据上进行特征化工作，请参见第 13、14 和 15 章。

3.1　特征提取概况

特征提取与识别在陆地遥感信息处理已得到广泛应用，但在海洋信息处理技术中目前尚未得到充分发展，一般仍是采用目视解译，手工勾画的办法，主观性大，特别是研究海洋动力特征的时空变异规律时，不易客观地定量化。近年来，对海洋要素场中海洋现象的特征智能识别与提取，已开始受到海洋工作者的重视，并开展了一些研究和应用。

3.1.1　海洋结构特征识别

早在 20 世纪 80 年代初，美国科学家就使用 NOAA 热红外信息经计算机处理输出海面温度彩色专题图，经海洋专家的目视解译，判读了海洋水团的冷暖锋面、大尺度海流、中尺度涡旋、沿岸流和河口冲淡水水舌的大概位置和状况。此后，许多学者利用各种遥感数据，研究了其他海洋现象结构特征在遥感资料中的反映。但大多数研究是采用陆地遥感图像处理的方法对影像进行增强。然后人为对水体值进行分段或划定其边界，也有采用传统监督/非监督分类。然而由于海洋水体一般混合程度较好，缺乏陆地景物那种明确的边界和强烈的反差。从反差很小而后向散射信息微弱的海洋水体遥感影像中提取结构特征一直比较困难。前面这些定性方法对于模糊边界的提取存在主观性大，结果可靠性差等缺点。

近年来，随着人工智能、模式识别、遥感技术和数据挖掘的发展，随着遥感和实测数

据量飞速暴涨，人工识别与处理已不能满足实际要求，智能化已成为当前海洋数据处理分析的发展方向之一。海洋数据处理智能化通过建立知识库系统，发展具体的智能计算方法，模拟海洋学专家对海洋现象的理解和分析过程，最终从海量海洋时空数据库中挖掘潜在的特征和知识。

在这种趋势下，一些国家和机构正在将海洋结构特征的智能化自动识别提取作为其重要的研究方向之一。最具代表的是美国海军研究实验室的遥感部(Remote Sensing Division，Naval Research Laboratory，NRL)，该机构将海洋现象及其变化的智能影像分析和自动检测(detection and tracking)作为研究方向之一。其他较为典型的研究还有：Delware 大学遥感中心利用模式识别的方法从卫星资料中提取海洋表面动态的线形特征，从而试图从一个时间序列的资料中推算出其运动的方向和速度；意大利的热那亚大学的遥感影像处理与模式识别实验室(Image Processing and Recognition for Remote Sensing，University of Genova，Italy)则正在开展海洋动态检测模式识别方法的研究；加拿大海洋与渔业局(Fisheries and Oceans Canada)正在利用多种卫星影像资料融合提取结构特征，从而推断海洋的动态变化。

3.1.2 多尺度提取

海洋几何形态特征的提取属于海洋要素场高频信息的提取。由于海洋几何形态特征本身的强边缘和弱边缘共存的特性，利用传统的边缘提取算子(Robert、Sobel 和 Kirsch 算子)进行边缘信息提取均不能达到理想的效果(Simhadri Iyengar 1998)。阈值选取的过大，弱边界信息和噪声信息均被屏蔽掉，弱边界信息损失较为严重；若阈值选取得过小，弱边界信息得以保留的同时，噪声干扰也较为严重，两者很难达到一个理想的折中。

近年来发展起来的空间尺度理论表明，任何的地理实体或客观现象在形成信息的过程中都依赖于空间尺度的特征，只有在特定的空间尺度下来描述信息并在相应的尺度下进行信息提取，才具有科学意义和现实意义(Tony Lindeberg 1994，1996)。空间认知理论也表明，信息在观察、理解和传播的过程中，其表现出来的特征不仅取决于自身特征，而且依赖于观察者所用的尺度和方向，因而进行一系列的尺度和方向分析则能有效地反映出信息的本质特征。

多尺度分析理论表明，在不同的尺度上反映的图像的信息量不同，大尺度上反映的是图像近似信息，高频信息得到一定的压抑，小尺度上则更精确地反映图像细节信息，图像的信息量更为丰富。原始尺度图像经过系列的分解形成系列的尺度图像，可以根据实际的需要选择所需要的尺度图像进行处理，在大尺度上得到强边界的同时，在小尺度上得到弱边界，对处理后的尺度图像进行相应的影像重构，从而达到理想的海洋几何形态特征提取效果。

20 世纪 60 年代发展起来的数学形态学，在多尺度分析方面具有独特的优点。其核心概念：结构元素可以通过形态学的基本概念和基本性质，形成结构元素序列。结构元素序列形成从小到大的序列尺度，利用其序列尺度中的最佳尺度来提取海洋几何形态特征，从而达到最佳的提取效果。

20世纪80年代发展起来的小波理论，被誉为数学分析的显微镜，其核心思想是多尺度分析。多尺度分析形成序列尺度的近似信息和细节信息，对各个尺度的近似信息和细节信息分别根据需要进行处理和分析，在大尺度上提取强边界信息，在小尺度上提取弱边界信息，然后对各个尺度上信息再进行小波重构，在提取各尺度边界信息的同时抑制噪声。

3.1.3 国外研究状况

空间数据的多尺度表达是当今地理信息科学研究的前沿课题之一。在遥感技术迅速发展和对数据不同需求的前提下，对数据的多尺度描述和表达迫切需要。这不仅可以满足不同用户不同的需求，而且可以解决数据建库的复杂性。因此，国外的一些研究机构和学者对数据的多尺度表达进行研究，美国国家地理信息与分析中心(NCGIA)于1988年在其创新研究计划中开始提出研究空间数据的多重表示问题(Goodchild 2001)；1996年6月美国大学地理信息科学协会(UCGIS)也将尺度空间表达问题列为未来10年地理信息科学的10个优先研究领域之一(UCGIS 1996)；1997年的NCGIA的VARENIUS基金将"地理细节的形式化概念"列为高度优先的认知研究项目，以研究地理信息中的认知中的尺度、详细尺度以及多尺度表达问题(Goodchild 2001)；国际摄影测量学会(ISPRS)数据综合与数据挖掘工作组联合国际制图协会(ICA)地图综合委员会于2002年7月在加拿大渥太华以"空间数据的多尺度表达"为主题召开了学术会议，研讨与多尺度表达有关的基础理论与应用整个领域的有关问题。

国外的许多学者利用形态学梯度算子和小波理论进行信息边缘的提取，并取得了很好的效果。Frank Y. Ahih(2003)，T. Chen，Q. H(2002)，Neal R，Harvey(1996)和Scott T. Acton(2003)分别设计了形态学梯度算子进行了信号边缘提取，并取得了较好的效果。随着小波理论的发展，小波分析在图像处理中的应用得到空前重视，利用小波多尺度分解和重构技术进行信号的边缘提取，取得了较好的效果。比如，Azhar Quddus(2002)提出了基于小波变换的单一值降解技术来实现图像最佳尺度的选取，并进行边缘的提取；Lei Zhang(2002)利用二值小波函数作为基函数，对原始图像进行小波分解得到相邻尺度间的子尺度图像，然后对相邻尺度间的子尺度图像进行相乘得到积函数，该函数不仅增强了图像的边缘信息而且也抑制了噪声的影响；Claudio Rosito Jung(2003)等在尺度空间理论的前提下利用小波多分辨率技术把原始图像分解成一近似函数子图像和3个细节函数子图像，然后只对水平细节子函数和垂直细节子函数的小波系数进行处理，对处理后的信息再进行小波逆变换，从而达到图像边缘信息的增强和噪声的抑制；Scott Konishi(2003)等则从概率分布的角度出发，利用多尺度分析技术进行图像的边缘提取，并取得理想的效果；C. Ducottet(2004)等对图像中的边缘类型进行了分析，并利用小波变换中的模最大值来提取图像中的边缘点；Junxi Sun(2004)等提出了基于小波域的隐性矢量马尔可夫树模型(VHMT)的多尺度边缘检测算法，该算法是基于非监督学习的思想，通过小波域内矢量马尔可夫树模型(WD-VHMT)的建立来计算属于图像边缘的小波系数，来进行图像边缘的提取，该模型可以通过期望最大值算法来完成；Ming Yu Shih(2005)等

针对传统的边缘提取算法存在的缺点：噪声的干扰和边缘的不连续性，在小波多尺度分析的基础上，提出了上下文滤波算子和多尺度边缘跟踪的算法，来进行图像边缘的提取和跟踪。

与利用形态学梯度理论和小波分析理论来进行图像边缘的提取相比，遥感海洋要素场海洋信息边缘自动提取的研究尚未得到充分的重视。令人欣慰的是，国际上不少学者在这方面已经开始了尝试，并取得可喜的成绩。M. Suzanne(1993)运用形态学梯度的开闭运算算子对北大西洋湾流的红外遥感影像进行解译，进而提取冷涡和暖涡的形态特征；H. Sarah(1994)等从遥感卫星影像上利用圆检测技术来提取涡旋的大小和位置；Sankar Krishnamurthy(1994)等运用基于直方图的形态学边缘检测算子对北大西洋的中尺度冷涡和暖涡进行边缘提取；Ryan Hickox(2000)等在分析12年卫星遥感SST(Sea Surface Temperature)资料的基础上，提出了东海海洋锋的提取和去云算法，并分析了东海海洋锋的季节变化；S. S. Iyengar(1997)等在尺度分析的基础上，利用小波多尺度分析技术对海洋图像要素场进行提取，在文中作者提出了海洋要素场中存在弱边缘信息的思想，并分析弱边缘信息在系列尺度上分布特征，S. S. Iyengar(1997)和K. K. Simhadri(1998)等提出弱边缘在海洋卫星图像上的存在性，并利用小波多尺度分析的思想提出了一种在抑制噪声的同时，海洋边缘信息得以增强的算法。

3.1.4 国内研究状况

国内学者对地理空间实体的多尺度研究主要分为以下两类：

(1)定性地描述地理空间实体的多尺度特性，并进行多尺度边缘的提取。如陆军，王润生(2000)等利用空间尺度理论进行直线抽取；李军、周成虎(1999)等对地学数据多尺度特征进行了分析；尹平、王润生(1998)等对多尺度边缘检测技术方法进行了比较，并对边缘的尺度范围确定、最佳滤波尺度设计和多个尺度边缘检测进行了分析；张继贤、李德仁(1996)等则利用小波的多尺度分析理论对遥感影像纹理的多尺度特性进行了分析；李霖、李德仁(1994)等对GIS中二维空间目标的尺度性进行了分析。

(2)对地理空间实体的多尺度特性进行表达。空间实体多尺度特性，是多尺度提取的基础之一。吴凡(2002)对地理空间数据的多尺度表达进行了详细的描述；李霖、吴凡(2004)深人地分析空间尺度理论和空间数据的多尺度表达。

利用形态学梯度算子和小波分析理论进行图像的边缘提取，在国内也得到了充分的重视。在形态学梯度算子方面主要体现在形态学梯度算子设计方面，并利用其设计的形态学滤波算子来进行图像的边缘提取(赵春晖等 2002)。小波理论的发展是20世纪公认的最辉煌的科学成就之一。利用小波理论进行图像的边缘提取，大部分学术论文的思想是对原始影像进行多尺度分解，对分解后的各个子尺度图像进行相应的处理，然后进行小波逆变换，得到边缘图像(章宝国等 1998；陈东等 1998；张宏群等 2003)。近两年，国内部分学者尝试把小波理论的多尺度分析思想和数学形态梯度理论的思想结合起来进行图像边缘提取，也取得一些成果(彭玉楼等 2004；张文琴等 2004)。

过去许多学者(郭炳火等 1995；汤毓祥 1995；李立 2000；王磊等 2004)对海洋锋的研究是基于实测资料或者是从遥感要素场定性分析海洋信息，近年来随着遥感技术

的发展和海量数据的增加，从遥感要素场自动化提取海洋信息已显示出迫切性和必要性。如姬光荣等(2002)，其利用曲线拟合和局部区域 Hough 变换思想，提出了“由粗到细”的海洋遥感图像中尺度涡计算机自动检测算法，该算法能够对成熟期、形态特征明显的中尺度涡进行较好的自动检测。

3.2 海洋几何形态特征及其时空尺度

3.2.1 尺度内涵

海洋信息在空间上的分布和在时间上的延展都具有一定的尺度。同时，海洋信息所包含的空间数据和非空间属性数据都依赖于一定的时空尺度，在不同的尺度下描述信息所表达的信息密度不同。从研究者的角度，尺度可以理解成在研究某一海洋现象时所采用的时空单位，从过程的角度分析，尺度可以看成是某一过程或现象在空间和时间上所涉及的范围和发生的频率。

从尺度的组成来看，尺度可以分为空间尺度、时间尺度和语义尺度。

1. 空间尺度

空间数据以其表达的空间范围大小和地理系统中各部分规模的大小分为不同的层次，即不同的尺度。这种特征表明，根据数据内容表达的规律性、相关性及其自身规则，可由相同的数据源形成并再现不同尺度规律的数据，即派生具有内在一致性的多个尺度的数据集。原始信息在其派生的具有内在一致性的多个尺度上的分布具有内在的连续性，大尺度上的信息是由各个子尺度信息的抽象概括，这是空间数据进行多尺度表达的基础。

2. 时间尺度

时间尺度是指数据表示的时间周期及数据形成周期有不同的长短。从一定意义上分析，时间尺度与空间尺度有一定的联系，即较大空间尺度对应于较长的时间周期，较小的空间尺度对应于较短的时间周期，比如全球范围内的厄尔尼诺现象时间可以持续半年至 1 年以上，中等尺度的海洋锋活动周期一般在几周至一两个月内，而小尺度的内波持续时间在几小时内。正是由于特征和过程有一定的自然节律性，才导致空间数据具有多尺度特征。

3. 语义尺度

语义尺度没有空间尺度和时间尺度直观，易于理解，它是描述海洋形态语义变化的强弱幅度以及属性内容的层次性的概念。强弱幅度可以有单位时间内或者单位距离内属性特征值的变化幅度值来表示；属性内容的层次性是属性描述中的类别和等级，是语义实体的包含关系。语义尺度在一定意义上同时空尺度存在密切的联系。较大的时空尺度下所具有的语义尺度具有较高的抽象概括能力，而较低的语义尺度往往和较小的时空尺度相联系。为了更好地理解语义尺度的层次性，以海洋现象为例说明语义尺度的含义(见图 3-1)。

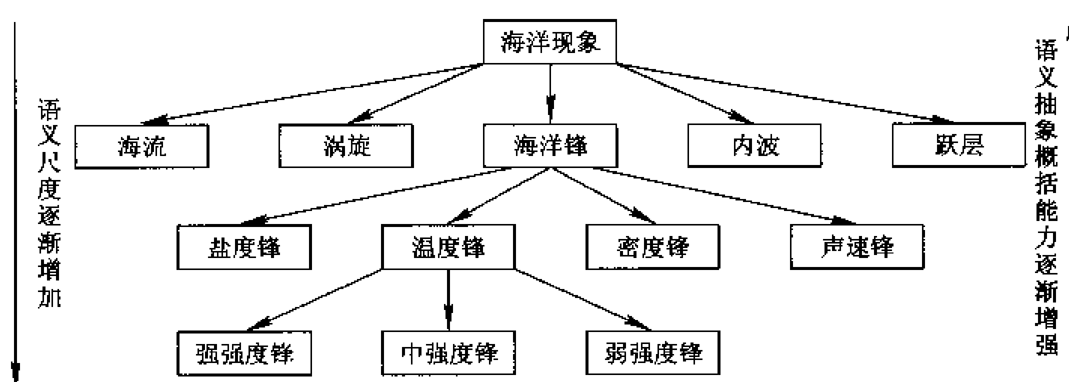


图 3-1　海洋现象 4 级语义尺度

3.2.2　空间分辨率

从遥感要素场中，利用空间信息的多尺度表达特征来进行海洋信息的特征边缘提取，关键是海面形态在遥感影像中的多尺度表达。遥感影像的多尺度表达主要依赖于遥感影像的空间分辨率。

1. 空间分辨率与现象空间尺度

空间分辨率与空间尺度存在着对应关系，所谓对应关系是指大的空间尺度海洋现象对应着大的空间分辨率，对海洋形态特征的综合与抽象的能力更强，更能反映出信息的总体趋势；反之，在研究小尺度现象时往往采用小的空间分辨率，能够更为详细地描述信息的细节信息。空间分辨率选取的大小与研究区域和研究目标有着密切的关系，在研究全球性的天气情况和海流运动，采用 1 km 甚至十几千米的空间分辨率图像就能满足要求，在研究一个区域河口的水色锋时，采用的空间分辨率就要相应地提高。

2. 空间分辨率与有效尺度

海洋现象的空间尺度与遥感影像的空间尺度在通常情况下，不是等于关系，而总是存在一定差异。同一空间分辨率下的遥感影像所覆盖研究区域内的海洋现象的空间尺度是不同的，用同一空间尺度进行特征边缘提取，只能提取相对应的形态特征，对于大于空间尺度或小于空间尺度的现象特征，均不能达到理想的效果，这就是进行有效尺度或者最佳尺度的选择问题。空间分辨率、有效尺度和海洋现象空间尺度的相互关系及在形态特征提取中的应用如图 3-2 所示。

3. 空间分辨率与海洋现象识别

几何形态尺寸大于空间分辨率的海洋现象并不一定都能够在影像上得到很好表示。若海洋现象的几何形态尺寸正好等于空间分辨率的大小，但在扫描成像的过程中，该几何形态被扫描到两个相邻的像元中，这就出现了混合像元的问题。即使几何形态的尺寸大于空间分辨率，但在成像的过程中出现混合像元的问题，该几何形态在影像上也不能很好地表达。但如果该海洋现象的几何特征明显，例如强水色锋等线性特征，即使其横断面尺寸小于空间分辨率的大小，但由于其在影像中明显的线状特征，在遥感影像中也能进行很好的表达。上述两类问题对影像的多尺度表达具有重要的影响，要特别关注。

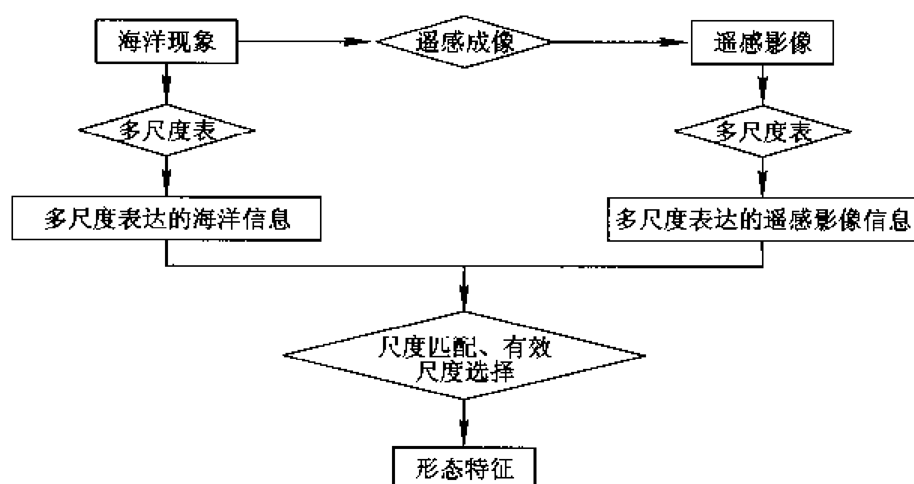


图 3-2　空间分辨率、有效尺度和海洋现象空间尺度之间的关系

3.3　海洋现象栅格多尺度描述

3.3.1　多尺度描述

在特定的尺度下，来描述现实世界的海洋现象，并在相应的操作尺度下进行信息提取才具有科学意义。海洋现象的多尺度特征使目标的尺度确定和最优提取方法变得复杂，这就迫切需要对海洋现象进行多尺度表达。海洋现象的成像过程类似于人的认知过程，均依赖于空间尺度特征。

1. *多尺度描述的必要性*

海洋现象的一个本质特性是只有在特定的尺度下进行描述才是有意义。同一海洋现象以不同的形式出现主要是因为以不同的尺度进行观测，这也表明了尺度的概念在描述海洋现象的至关重要性。比如海洋现象在不同的尺度上进行动力模式模拟和特征提取，可以从粒子和量子的小尺度上，通过流体力学和热力学来研究每一天的海洋现象，也可以从天体和相对论的尺度这种远远大于我们处理的尺度来研究海洋现象。

对于一个特征尺度提取算子来说，其所能提取的形态特征主要依赖于海洋现象的尺度和探测算子尺寸(分辨率)大小之间的关系。图像处理中一些基本的问题是：应用什么样的算子，在什么地方应用这些算子，算子的大小是多大等。如果这些问题不能够很好地进行解决，实现信息的自动分析和提取将非常困难。

通常情况下，用来选择分析的合适尺度一般被认为是先验条件，主要依靠该领域内的专家依靠目视来选择合适的尺度。然而，一旦不具备这样的先验知识，如何进行信息的多尺度分析和提取？为了解决这个问题，一个强有力的方法是对原始的影像数据进行多尺度分解，形成多尺度图像结构。

2. 遥感信息传输过程中的空间尺度

由海洋现象到遥感信息及遥感信息在传输过程中的空间尺度变化关系如图 3-3 所示。

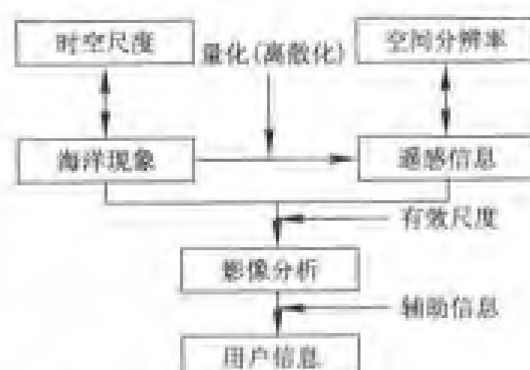


图 3-3 信息传输与空间尺度

从图中可以得知海面信息依赖于时空尺度，遥感信息依赖于空间分辨率，而海面信息与遥感信息之间存在一定量关系，通过有效尺度的选择，形成影像分析，并最终提取用户所需信息。几乎所有的时空过程都依赖于尺度，如在某一空间尺度下表现为同一性质的目标在另一尺度下则呈现不同性质(如 Goodchild 1980；Townshend，Justice 1988；Nellis，Briggs 1989)。研究气象学、海洋学问题时，把整个地球作为一个动力系统来考虑，需要宏观尺度；而研究沿岸流则需要小尺度范围。地球科学中不同领域的探索识别与不同的特征尺度相关连，如大气科学中区分微尺度和中尺度过程以长度尺度 0.01～1 000 m 对 10～1 000 km 来衡量。特征尺度定义了某个海洋现象能被监测到的时间、空间尺度大小。实际上海洋现象呈等级结构，需要不同尺度相对应。当遥感影像选定后，其空间分辨率即确定。但当前众多遥感平台提供大小从 0.4 m～1.1 km 系列空间分辨率，所以不同现象变化尺度选定相应的空间分辨率的问题仍对遥感和 GIS 研究起到很大作用。选择合适时空分辨率，必须研究影像表达内容的特性，尤其是随分辨率变化现象变化的模式。

3. 影像信息在空间尺度间的分布

空间结构标示环境和空间分辨率的结构，所以选择合适的空间尺度，必须理解图像的空间结构组成，掌握图像信息在空间尺度间的分布。为了更好的理解海洋信息在图像中的分布，以墨西哥湾流遥感影像为例，依次按分辨率 4 km、8 km、16 km 和 32 km 来看其信息的分布情况(如图 3-4 所示)。



图 3-4 分辨率依次降低的遥感影像信息分布

影像信息在空间尺度间的分布情况，与海洋现象尺度和遥感影像的空间分辨率密切相关。遥感影像的空间分辨率小于海洋现象尺度，遥感信息图像中大多数像素与邻域相关性强，则局部变量低；如果海洋现象目标近似于分辨率单元大小，则邻域相似性降低，局部变量逐步增加。当分辨率单元内，包括多个目标时，即混合像元，其局部变量又降

低。所以，可以利用逐渐降低影响空间分辨率的方法分析各个分辨率下的影像信息的分布关系，并利用信息之间的分布关系来进行多尺度特征提取。

3.3.2　多尺度特征与特征信息提取

传统的特征提取算法，一般没有考虑到信息的多尺度特征，直接运用特征提取算子与原始信号进行卷积运算。该算法只能得到某一尺度下的特征信息，在大于该尺度或者小于该尺度下的特征均不能得到很好的提取。

多尺度理论的发展使信息的多尺度表达成为现实，多尺度特征信息的分析与提取也得以发展。进行多尺度分析与提取的关键涉及以下五个问题。

1. *如何进行信息的多尺度表达*

信息的多尺度表达问题涉及多尺度表达模型的问题，即选择什么样的多尺度表达模型描述多尺度信息，实现用最小的存储空间表达最丰富的有用信息。目前对信息的多尺度表达模型主要有图像金字塔结构。利用图像金字塔结构来存储和表达信息主要思想是层次结构中上一层的所有信息是由下一层结构中图像信息经过抽象和概括形成。在图像金字塔结构中，层次结构的最上层信息是最抽象概括，从更宏观的角度反映信息的主体趋势，层次结构中的最底层是图像的细节信息，能够更详细地描述图像的细节。在图像金字塔结构中，用户可以根据需求的详细程度，选择某一层数据信息。在运用图像金字塔结构进行图像信息的多尺度表达时，关键需要理解的是信息在各个层次是如何进行传播的，只有理解了信息在各个层次上的传播机制，才能实现信息由底层向上层的抽象概括和由上层信息向下层信息的分解。图像金字塔结构进行多尺度表达模型如图3-5所示。

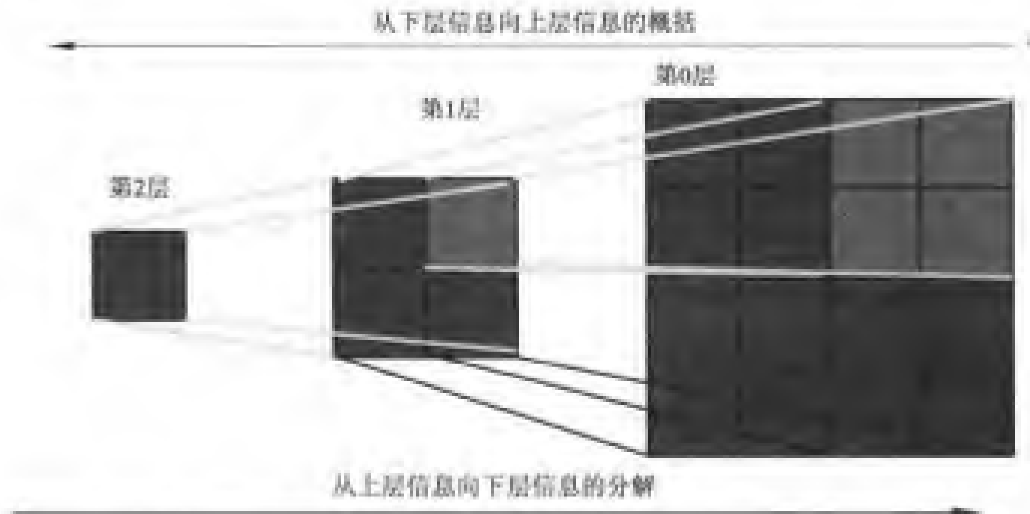


图3-5　进行多尺度表达的图像金字塔结构

2. *如何确定特征的尺度范围*

遥感要素场的信息是由海面经过系列的尺度变化的遥感成像机理形成的，由于海洋现象尺度是不尽相同的，经过系列传输过程，其在遥感要素场形成的信息尺度也是不同

的，对应的特征信息尺度也是不同的。以线性特征为例，存在四种典型的特征类型：理想型、过渡型、脉冲型和梯度型。任何一种类型，其空间尺度是不同的。例如，理想型，其空间尺度一般是单像素大小，空间尺度的大小是空间分辨率的大小，而对过渡型的空间分辨率来说，其空间尺度尺寸一般包括几个像素的大小。这一点在遥感要素场中海洋信息的弱边缘信息尤为明显。

3. 如何选择最佳滤波尺度进行多尺度特征提取

在特征提取的过程中，选择的滤波尺度适宜与否，对最终的提取效果有着重要的影响。人为设置的尺度有其局限性，并且哪个尺度适用于何种情况也是未知，因此，分别用不同尺度的滤波器检测边缘，获得不同的特征图像，再根据特征在尺度空间具有的内在因果性，采用不同的方式组合它们，从中确定较合适的特征。尽管国内外的许多学者尝试设计了多种特征组合算法，但到目前为止，还没有找到一个最佳的组合方法，实现同时提取各种尺度的特征信息。

4. 特征信息在各个尺度上的分布

特征信息在各个尺度上的分布机制是设计从各个尺度上的特征信息提取最佳特征信息的基础，只有理解了特征信息在各个尺度上的分布情况，才能更好地提取特征信息。特征信息在各个尺度上的分布特性主要体现在：①各尺度间特征信息之间存在内在的联系，大尺度上的信息是由小尺度上的信息抽象概括而得；②如果抽象概括算法设计的比较理想，小尺度上的信息也可以由大尺度上的信息经过抽象概括逆算法（分解算法）而得到；③在大尺度上，图像特征的定位精度效果较差，但能够反映图像的大致轮廓，并且对噪声的抑制能力较强；④在小尺度上，图像特征的特征定位精度较高，但与此同时噪声的干扰也较强；⑤特征信息和噪声都属于高频信息，但特征信息在序列尺度图像上，特征信息能够连续的得以保留，而噪声信息随着尺度的增加，其信息能量会逐渐减弱，可以说特征信息在尺度序列上具有继承性（传播性），而噪声则不具备此特性。

5. 如何从各个尺度上的信息提取出最终特征信息

不同尺度的海洋现象经过遥感成像机理在遥感要素场中也具有不同的尺度特征，用同一尺度滤波算子进行特征提取，很难满足现实需求。因而，要对原始要素场数据进行分解或者抽象概括，形成各个尺度上的特征影像。在各个特征影像中，设计相对应的尺度滤波算子进行特征提取，然后对提取的各个尺度特征信息进行图像融合，形成特征信息。

多尺度特征特征的信息提取过程，包含两个重要步骤。

1)多尺度滤波算子的设计

多尺度滤波算子的设计适宜与否，对最终的提取效果有着重要的影响。尺度空间理论给出了如何进行设计多尺度滤波算子的算法。由于高斯滤波器具有空间平稳性，空间误差小，通常情况下，采用高斯滤波算子作为尺度滤波算子。其主要思想是把不同类型，不同尺度的高斯滤波算子的偏导数组成一系列算子，作为多尺度滤波算子。

2)特征信息的融合形成最终的特征信息

利用多尺度滤波算子对多尺度图像进行特征提取，提取后的多尺度特征信息图像还

不是最终的最佳特征图像，还必须进行阈值设定和特征的融合。图像特征阈值的确定可以采用硬阈值和软阈值两种方法。特征的融合可以对序列尺度特征图像直接相加的方法，或者根据各尺度间特征信息量的不同采用加权相加的方法。从理论上分析，利用上述两种方法均可以满足实际的需要，但由于噪声的存在，必须考虑噪声在各个尺度图像上的分布并进行消除。因而，在设计特征信息融合的算法时，必须考虑噪声对特征信息造成的影响。

3.4 海洋锋的基本概念

3.4.1 海洋锋的定义

尽管海洋锋的研究对生产、国防及海洋、气象有重要意义，也逐渐成为海洋学中的重要研究领域，但不同的学者对海洋锋有着不同的定义。

早期的渔民和海员在海上进行生产活动中，早就发现了“流隔”或者“水隔”这类海洋现象，该海洋现象被称之为海洋锋。对海洋锋有过许多定义。比如“海洋表面海水密度骤然变化的带域”，“高度图上动力等高线的密集区，并为相邻循环之边界区域”，然而海水密度的变化一般比较小，远没有水温、盐度那样变化大且容易测量，特别是当温度、盐度效应反向时，海面的密度梯度即使较小，也不能推论水温、盐度变化没有较强的梯度，因此也更难依此而推测表层之下的其他要素的梯度，所以用海面密度变化定义海洋锋是有一定缺陷的。出于海军作战的需要，也把海洋锋定义为任意水文要素的不连续面，只要它对水声的发射和传播产生值得注意的影响就可以了。为用动力方法研究方便，海洋锋可定义为某一个水文变量的梯度达到极大值的地方，由于水文变量可以是水温、盐度、密度等，因此便与有了温度锋、盐度锋和密度锋等名称。从水团研究的观点来看，可将海洋锋定义为不同水团的狭窄过渡带，这个定义对于水团研究来说是有益处的，但却具有很大的局限性。因为在现实的海洋中，的确存在各种环境参数的阶跃性质，而这些地方并非总是水团的边界。中国大百科全书的定义可以说兼顾了以上两个方面：“特性明显不同的两种或几种水体之间的狭窄过渡带。它们可用温度、盐度、密度、速度、颜色、叶绿素等要素的水平梯度，或它们的更高阶微商来描述；即一个锋带的位置可以用一个或几个上述要素的特征量的强度来确定它”。

3.4.2 海洋锋的分类

目前提出的海洋锋的分类原则既不统一，判别标准也多有不同。大体有如下几种（李凤岐　2000）。

（1）着眼于空间分布出现阶跃的海洋环境参数不同，可以有温度锋、盐度锋、密度锋、声速锋、水色锋等等。

（2）着眼于阶跃强度的差异，可以分为强锋（如湾流锋）、中强锋（如大西洋锋）、弱锋（如马尾藻海锋）。

(3)着眼于锋生尺度的大小，可以分为行星尺度锋(如南极锋、北极锋、马尾藻海锋)、中尺度锋(中尺度涡的锋、陆架坡折锋)和小尺度锋。

(4)着眼于锋生的海域的差别，可以分为强西边界流边缘锋(如湾流锋、黑潮锋)、浅海锋和河口锋等等。

(5)着眼于锋生的动力原因，则有海流锋、上升流锋、辐合或辐散带锋、河口羽状(舌状)锋、陆架坡折锋(在高温陆架水和低温陆坡水的边界处形成)。

(6)着眼于锋生的水层，可以有海面锋、浅层锋、深层锋等等。

3.4.3 海洋锋的强度与特性

1. 海洋锋强度

海洋锋的强度在分析海洋锋的空间分布或时间变化特征具有重要价值，在海洋锋的分类中就有一种以强度为标准的。然而，由于海洋锋定义的广泛性，对海洋环境参数“急剧变化”的梯度、不均匀分布的“阶跃”等等，究竟达到何种程度，并没有给出定量的标准。在现实中，不同的参数应该有不同的标准，即使同一参数，在不同海域或不同季节，也不能强求统一。国内外学者根据研究的区域和研究的目的对海洋锋的强度标准不一。表 3-1 给出了国外学者对海洋锋定义的标准。

表 3-1 国外某些作者提出的确定海洋锋的标准(李凤岐 2000)

	作者		Shpaykher, Moretskiy			Johannessen	Colton	Foster
	年份		1964			1973	1974	1974
	海区		极地海域	格陵兰海	挪威海	马耳他海	马尾藻海	白令海
在锋的横断面上每 10 n mile (18.52 km) 环境参数的改变量	温度 θ	强锋	5.4	5.6	3.0			
		弱锋	0.11	0.1	0.4			
		均值	1.10	1.0	1.3	0.5~1.0	1.33	1.3~3.0
	盐度 S	强锋	10.9	1.5				
		弱锋	0.2	0.3				
		均值	2.2	0.6		0.25	0.03	0.2
	声速 c	强锋						
		弱锋						
		均值				2~4	4	4~6
锋的铅直尺度 z/m		强锋	125	1 000	1 500			
		弱锋	7	150	100			
		均值	21	531	745	100	200~400	100
倾角或倾斜率		强锋	6′	1°06′	1°03′			
		弱锋	0′	18′	12′			
		均值	1′17″	22′	11′	0.25~0.5	0.4~1.0	0.1~0.5
	厚度 Δz/m					5~10	5	5~10
	持续时间					数月	数月	长期

2. 海洋锋特性

通过对海洋锋的定义、海洋锋的分类和海洋锋的强度分析，可以归纳出海洋锋的特性：

(1)海洋锋是某一种或者某几种海洋要素的空间分布，而且这种空间分布必然具有较高的一阶或高阶微商。尽管海洋要素的种类可能不确定，可以是温度、盐度等，海洋研究区域的空间尺度、地形特征不明朗，如陆架坡折锋、河口锋等，该区域的动力学状况也千差万别，但是最终体现在观测数据上的是较高的微商数值。因此把握海洋要素场的空间连续性变化的特征是最简单、实用和可靠的方式。

(2)海洋锋的时空尺度变化范围较大。海洋锋主轴的长度范围可以从 100 m 到 10 000 km 之间，海洋锋的深度变化范围是 1 m～1 km；海洋锋的时间尺度可以从几个小时持续到几百万年。强海洋锋信息主要体现在大的空间尺度上，而在小尺度上则主要是弱海洋锋信息或者是细节信息。结合研究的目的，本章只考虑海洋锋的空间尺度特性，海洋锋空间尺度的特性是进行海洋锋多尺度表达和多尺度特征提取的基础。图 3－6 给出了黑潮流域的黑潮锋在各段上的空间尺度变化。

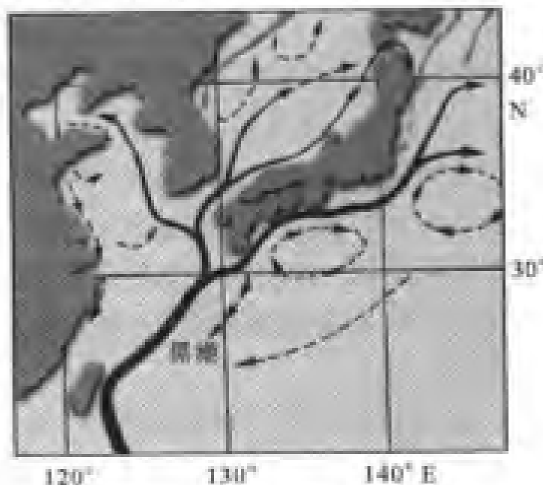


图 3－6　黑潮锋空间尺度变化

3.5　海洋锋与空间尺度

3.5.1　海洋锋的多尺度描述

海洋锋的多尺度特性已经得到国内外学者的重视，但如何选择适宜的尺度进行定量的多尺度表达一直没有得到很好的解决。海洋锋的空间尺度无论从主轴的长度上分析还是从横断面宽度上分析，采用一个固定尺度来进行海洋锋表达，并进行海洋锋提取，都很难满足实际要求。正如前面对海洋现象的尺度分析一样，在缺少先验知识的前提下进行海洋锋多尺度提取之前，很有必要对海洋锋的多尺度特征进行表达。

本书中形态特征的提取或现象特征化主要以海洋锋的提取为例，设计的多尺度表达算法能够对各个尺度的特征信息进行提取。因而，设计多尺度表达算法应遵循以下原则。

1. 各尺度之间的信息应具有内在的联系

海洋锋尺度不尽相同，在遥感要素场中其表现的空间尺度也不相同。在不同的尺度进行海洋锋表达的同时，应保持尺度之间的信息具有内在的联系性，而不是各尺度之间的信息相互独立。这是进行多尺度表达的前提。由于不同尺度之间的信息具有内在的

联系性,对各个尺度的图像分别进行图像特征的提取,然后按照融合算法对多尺度特征图像进行融合形成最终的特征图像,这样提取出的特征信息才不至于丢失某些有意义的信息。

2. 多尺度表达模型应尽可能简单

无论用什么模型进行信息的多尺度表达,都应该做到用最小的存储空间来表达尽可能丰富的信息,要达到此目的,其设计的表达模型可能较为复杂。进行多尺度信息提取的过程是针对此表达模型进行的,表达模型的复杂性无疑增加了信息提取的难度。此外,简单的表达模型更能直观的反映信息之间的相互关系。

3. 信息应具有保真性

对多尺度海洋锋提取,是分别对各个尺度图像进行,然后对各个子尺度特征图像进行融合从而形成最终的特征图像。图像的特征是研究过程中最感兴趣的信息,也是在多尺度表达过程中容易丢失的信息。因此,在设计算法的过程中应保证信息没有损失,这样才能满足实际的要求。

无论用何种模型进行图像的多尺度表达,都应满足应用可变分辨率进行信息的存储。针对上述设计多尺度表达算法遵循的原则和目前存在的多尺度表达模型,本章主要采用两种多尺度表达模型:图像金字塔模型和四叉树模型。

1)图像金字塔模型

图像金字塔模型是采用图像金字塔结构进行数据组织的模型。该模型的主要思想是把原始信息图像作为金字塔的塔底,根据原始信息图像的实际物理值之间的相似性和相关性,采用一定的合成算法,进行合并得到较高一层的图像结构。若该图像结构还不能满足实际分析目的的需要,继续根据图像像素之间的关系进行更高一级的合并,直至满足实际分析的要求。传统的金字塔模型一般采用方型临域均值或者加权相加的算法进行合并,如图 3-7 所示。

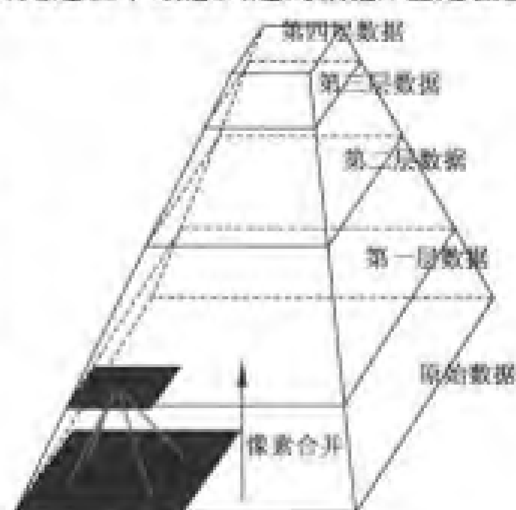


图 3-7　利用方型邻域进行合并的金字塔结构

无论是由何种原因(温度、密度、盐度和水色)形成的海洋锋都具有"流动性"的特征,其分布的特征呈现条带状分布。而利用传统的图像金字塔模型来进行海洋锋的多尺度表达时,底层向上层的合并算法没有考虑到海洋锋的"流动"特征。利用海洋锋的条带状分布,设计合并算法时可采用条型区域,如图 3-8 所示,利用海洋锋梯度值作为合并算法的权重进行计算,如图 3-9(a)所示。

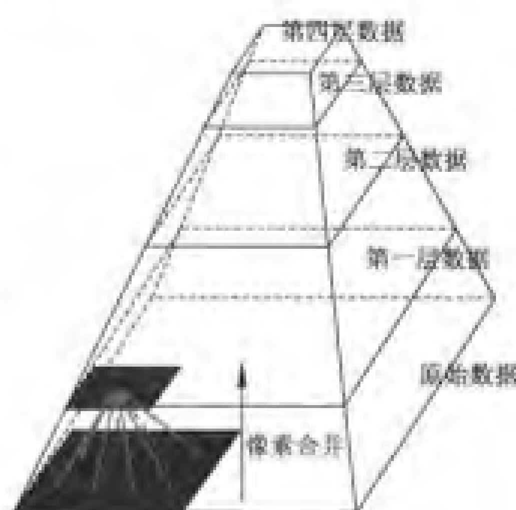
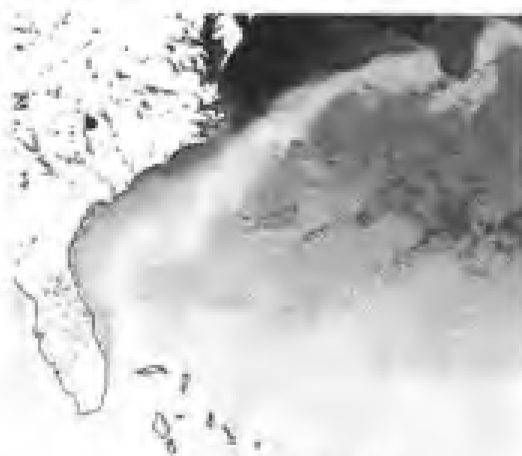
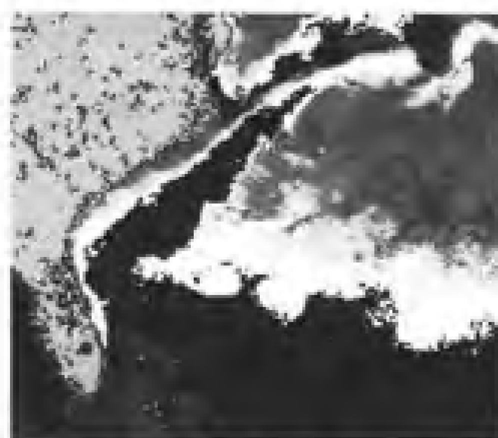


图 3-8　利用条带型邻域进行合并的金字塔结构

图 3-9(a)、图 3-9(b)、图 3-9(c)、图 3-9(d)和图 3-9(e)分别是墨西哥湾流原始影像图、利用方型邻域算法建立的墨西哥湾流金字塔结构中 1 级图像、利用方型邻域算法建立的墨西哥湾流金字塔结构中 2 级图像和利用条带型邻域算法建立的墨西哥湾流金字塔结构中 1 级图像、利用条带型邻域算法建立的墨西哥湾流金字塔结构中 2 级图像。



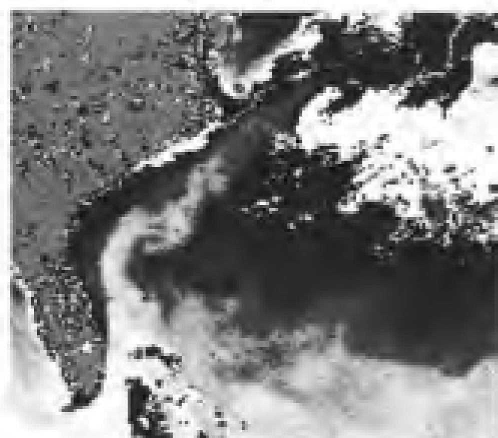
(a) 墨西哥湾流的原始影像



(b) 利用方型邻域算法建立的墨西哥湾流1级影像金字塔结构



(C) 利用方型邻域算法建立的墨西哥湾流2级影像金字塔结构



(d) 利用条带型邻域算法建立的墨西哥湾流1级影像金字塔结构



(e) 利用条带型邻域算法建立的墨西哥湾流2级影像金字塔结构

图 3-9　影像金字塔结构

2)四叉树模型

多尺度表达的四叉树模型是利用树结构通过合并和分解算法进行数据存储的模型，其基本思想是把原始数据看成是树的根部，树的根部是树的最顶层，是不能够再进行再聚合的，而只能根据分解算法进行分解，形成子接点或者树的叶子。进行分解的过程是对原始的行列依次进行不断的二等分，树的接点根据分解算法继续分解形成次一级的树的接点和树的叶子，直至所有的接点都被分解成树的叶子(区域内信息具有相同的特征)。树的叶子是分解的最底层，是不能够再进行分解，其表达的是数据最为详细的信息。从树的分解过程可以看出，各个层次之间的关系是由分解的具体算法确定，大尺度的数据被保留在树的较高层次上，而小尺度的数据主要体现在树的叶子上。大尺度上的信息包含了小尺度上所有信息，而小尺度上的信息要想反演出大尺度上的信息，必须通过同分解完全相逆的算法进行聚合。为了较好的说明四叉树模型的基本思想，图 3－10 是对二值图像进行的四叉树分解过程。

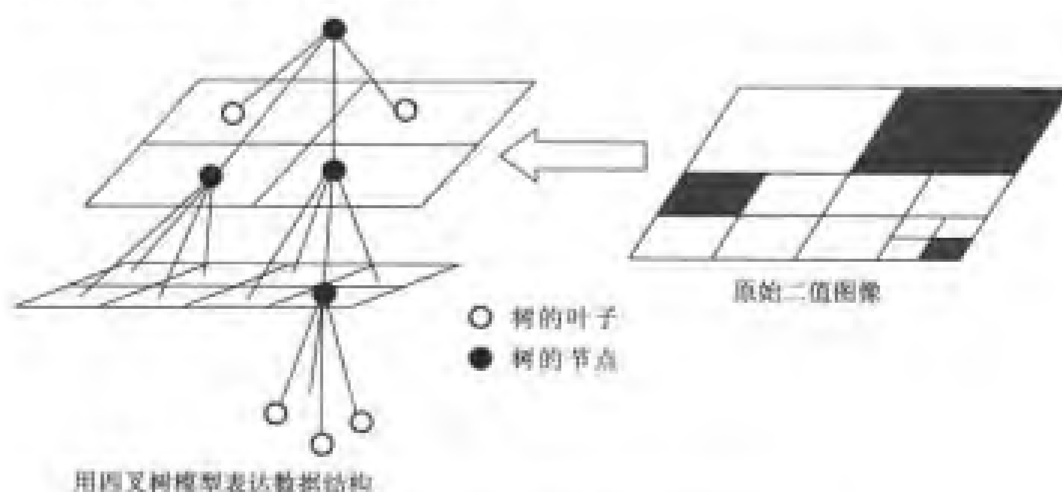


图 3－10　利用四叉树模型表达的图像结构

3.5.2　海洋锋的多尺度分析

海洋锋提取区别于其他信息特征提取在于它具有“流动”的特征，而且这种“流动”的特征在不同的尺度上具有不同的尺度表现，尺度对于运动物体的重要性就像地物目标具有空间和时间属性一样重要。因而，研究海洋锋信息的提取必须进行海洋锋的多尺度分析。

海洋锋多尺度分析的内容主要包括以下几点。

1. 海洋锋信息多尺度分析方法

随着空间尺度理论的发展，信息的多尺度分析方法研究也得到了重视，目前对信息的多尺度分析比较成熟的方法是小波理论中的多尺度分析。小波分析被誉为是“数学分析的显微镜”，它能够利用多尺度分析方法，对原始的信息实现从宏观到微观，即能得到信息的宏观趋势，也能够观测微观的细节。小波理论中多尺度分析的关键是小波函数(细节函数)和尺度函数(近似函数)的选取和采用什么样的原则对小波函数和尺度函

数进行逐级分解。有关这方面的探讨将在第 13 章基于小波理论的海洋锋提取中进行。

形态学理论中，结构元素被誉为是信号探测器，结构元素的尺寸与探测出的信号的大小存在密切的关系。第 13 章中经过图表分析和关系推导，得出特定结构元素的尺寸只能检测出与之相应尺度的信号，结构元素的过大或者是过小都很难检测理想的信号信息。形态学理论的基本性质表明结构元素可以通过自身的膨胀和腐蚀形成一系列结构元素，称之为结构元素序列。在结构元素序列中，选取最佳的结构元素尺寸并进行适当的组合，从而进行多尺度边缘信息提取。针对特定尺度的信号如何选取最佳的结构元素尺寸来进行信息的提取将在第 13 章详细讨论。利用形态学结构元素尺寸进行信息的多尺度分析，在国内外的学术报告中还未多见。

2. 海洋锋信息多尺度分布

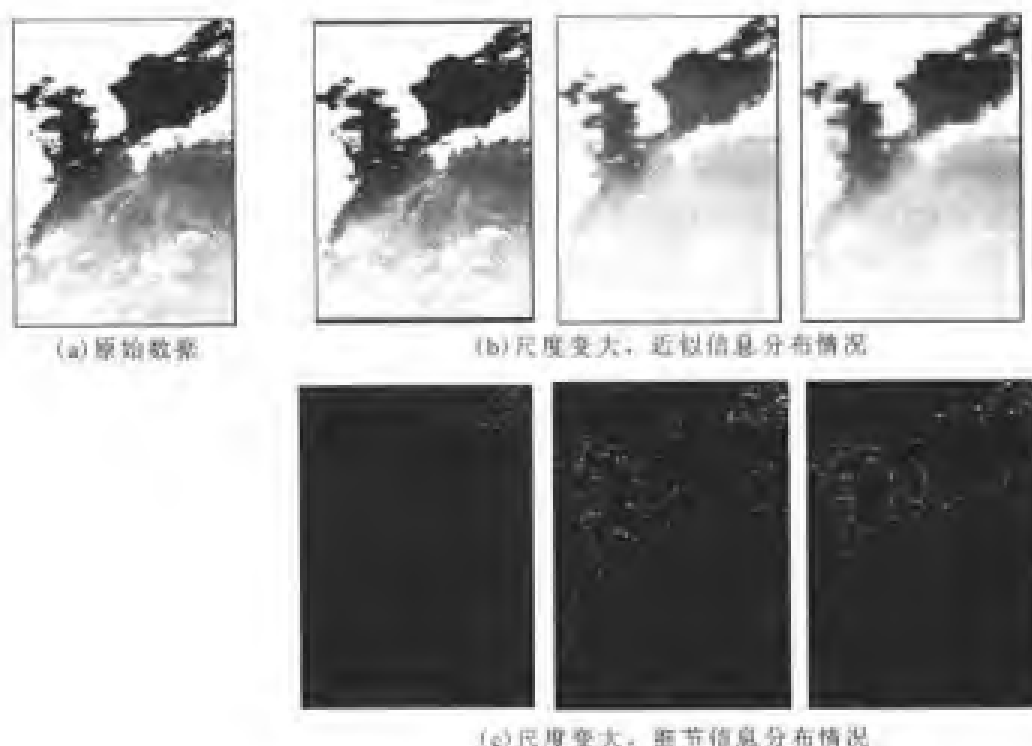
对多尺度海洋锋信息的提取，必须先了解海洋锋信息在各个尺度上的分布情况，然后对各个尺度上的信息进行适当的组合达到最佳尺度的提取。尺度空间理论表明：信息在各个尺度上的分布具有一定的内在联系性，即信息在各个尺度间的分布具有继承性。信息在尺度上的完全继承性前提条件是信息的无损分解。原始信息在无损情况下经过一级尺度分解得到次一级的近似信息和细节信息，近似信息和细节信息能够完全恢复原始信息。次一级的近似信息和细节信息可以采用相同的分解算法进行分解，或者只对部分的近似信息或者细节信息进行相同的分解，直至满足现实需要。在无损分解的情况下，高一级的信息完全包含次一级的信息，次一级的近似信息是对高一级的总体趋势的刻画，次一级的细节信息是对高一级信息的高频信息提取。要想在各个尺度上提取细节信息，必须同时得到各个尺度上的近似信息和细节信息。图 3 - 11(a)、图 3 - 11(b)和图 3 - 11(c)分别给出了遥感要素场黑潮流域黑潮锋的原始影像、近似信息和细节信息的三级分布情况。

3. 海洋锋信息与噪声的多尺度分布关系

海洋锋信息与噪声信息都属于高频信息，在特征信息提取的同时也包含了大量的噪声信息。如何在提取特征的同时抑制噪声的干扰，传统的特征提取算法很难解决这类问题。面空间尺度理论表明：尽管特征信息和噪声信息都属于高频信息，但两者存在本质的差异。特征信息在各尺度间的分布存在内在连续性，在大的尺度上反映信息的大致趋势，而在小尺度上反映特征的定位信息。而噪声在大尺度上反映单个孤立信息，随着尺度的增加噪声逐渐被压缩，甚至完全被屏蔽掉。

3.5.3 海洋锋在遥感要素场中的表现

进行多尺度海洋锋提取的起始点是海洋锋在不同的区域具有不同尺度，然而不同空间尺度的海洋锋在遥感要素场却具有相同的空间分辨率。地理空间尺度大的海洋锋在遥感要素场中用大于一个像素集合来表示，而地理空间尺度小于空间分辨率的海洋锋在遥感要素场中却很难表现出来。其中最为理想的情况是海洋锋的地理空间尺度与遥感要素场的空间分辨率大小相匹配，遥感要素场中的空间分辨率过大或者过小都很难达到理想的效果。



(a)原始数据　　(b)尺度变大，近似信息分布情况

(c)尺度变大，细节信息分布情况

图 3-11　遥感要素场黑潮流域黑潮锋的原始影像

目前遥感要素场的空间分辨率从 0.4 m 到 1.1 km 不等，基本上能够满足现实的需要。可以根据海洋锋的地理尺度来选择遥感传感器的空间分辨率的大小，从而实现多尺度海洋锋的分析和提取。另外一种就是根据海洋锋的地理空间尺度对遥感要素场中的海洋锋进行内插和重采样技术，来实现海洋锋的地理空间尺度与遥感要素场中的空间分辨率相匹配。目前，在给定的遥感要素场中的海洋锋，我们一般选取后者方法来进行海洋锋的多尺度分析和信息提取。

参考文献

1　陈东，周大威．1998．用多尺度小波变换进行边缘监测算法的研究．计算机工程与设计，(4)：35-37

2　郭炳火，汤毓祥，等．1995．东海海洋锋的波动及演变特征．黄渤海海洋，(2)：1-10

3　姬光荣，陈霞，等．2002．一种海洋遥感图像中尺度涡的自动检测算法．海洋与湖沼，(3)：139-144

4　李凤岐，苏育嵩，等．1999．海洋水团分析．青岛：海洋大学出版社，29-39

5　李军，周成虎．1999．地学数据特征分析．地理科学，(4)：158-162

6　李立，等．2000．台湾海峡南部的海洋锋．台湾海峡，(5)：147-156

7　李霖，李德仁．1994．GIS 中二维空间目标的非原子性和尺度性．测绘学报，(11)：316-321

8　李霖，吴凡．2005．空间数据多尺度表达模型及其可视化．北京：科学出版社

9　陆军，王润生．2000．一种基于尺度空间理论的直线抽取算法．中国图像图形学报，(8)：693-698

10　彭玉楼，等．2004．结合小波和数学形态学的图像边缘检测．长沙交通学院学报，(12)：26-29

11　苏奋振．2003．海洋地理信息系统(海洋 GIS)：[博士后出站报告]．北京：中国科学院地理科学与资源研究所·资源与环境信息系统国家重点实验室

12　汤毓祥．1995．东海海洋锋分类的初步探讨．黄渤海海洋，(2)：16-22

13　王磊，王丽娅，等．2004．利用卫星遥感资料对南海北部陆架海洋表层温度锋的分析．中国海洋大学学报，(5)：351-357

14 吴凡. 2002. 地理空间数据的多尺度处理与表示研究;[博士论文]. 武汉:武汉大学
15 尹平,王润生. 1998. 多尺度边缘检测技术的分类及比较. 计算机工程与科学,(2):16-21
16 张宏群,等. 2003. 小波变换的自适应阈值图像边缘检测算法. 红外与激光工程,(2):32-36
17 张继贤,李德仁. 1996. 影像纹理的多尺度分析. 环境遥感,(2):1-13
18 张文琴,等. 2004. 一种基于小波和形态学的边缘检测算法. 暨南大学学报(自然科学版),(10):585-589
19 章宝国,等. 1998. 基于正交小波变换的多尺度边缘提取. 中国图像图形学报,(8):651-654
20 赵春晖,孙锐. 2002. 形态滤波器结构元的自适应优化算法. 电子与信息学报,(3):289-295
21 Azhar Quddus. 2002. Wavelet-based corner detection technique using optimal scale. Pattern Recognition letters,(23):215-220
22 Chen T,Wu Q H,etc. 2002. A pseudo top-hat mathematical morphological approach to edge detection in dark regions. Pattern Recognition,(35):199-210
23 Claudio Rosito Jung. 2003. Adaptive image de-nosing and edge enhancement in scale-space using the wavelet transform. Pattern Recognition Letters,(24):965-971
24 Ducottet. 2004. Scale-adaptive detection and local characterization of edges based on Wavelet transform. Signal Processing
25 Frank Y,Shih. 2003. Adaptive mathematical morphology for edge linking. Information Science
26 Goodchild M. 1980. The effects of generatization in Geographical Data Encoding, in: Map Data Processing (Freeman H. et al. Editors), Academic Press, New York,191-205
27 Goodchild M F. 2001. Metrics of scale in remote sensing and GIS. JAG (2):114-120
28 Joseph H. Bosworth,Scott T. Acton. 2003. Morphological scale-space in image processing. Digital Signal Processing,(13):338-367
29 Junxi Sun. 2004. A multiscale edge detection algorithm based on wavelet domain vector hidden Markov tree model. Pattern Recognition,(37):1 315-1 524
30 Lei Zhang. 2002. Edge detection by scale multiplication in wavelet domain. Pattern Recognition Letters,(23):1 771-1 784
31 Michael F Goodchild. 2001. Metrics of scale in remote sensing and GIS. JAG (2):114-120
32 Ming Yu Shih. 2005. A Wavelet-based multi-resolution edge detection and tracking. Image and Vision Computing,(23):441-451
33 Neal R,Harvey. 1996. The use of genetic algorithms in morphological filter design. Signal Processing:Imaging Communication:55-72
34 Nellis M D,Briggs J M. 1989. The Effect of Spatial Scale on Konza Landscape Classification Using Textural Analysis. Landscape Ecology,(2):93-100
35 Ryan Hickox. 2000. Climatology and seasonal variability of ocean fronts in the east China,Yellow and Bohai Seas from satellite SST data. Geophysical research letters,(27):2 945-2 948
36 Sankar Krishnamurthy. 1994. Historgram-Based Morphological Edge Detector. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,(4):759-767
37 Scott Konishi. 2003. A statistical approach to multi-scale edge detection. Image and Vision Computing,(21):37-48
38 Simhadri K K,Iyengar S S. 1998. Wavelet~based feature extraction from oceanographic images. Geo-sicence and Remote sensing,(5):767-778
39 Simhadri K K, Iyengar S S. 1998. Wavelet~based feature extraction from oceanographic images. Geo-sicence and Remote sensing,(5):767-778
40 S S Iyengar, Kiran K Simhadri. 1997. Efficient Algorithm for Feature Extraction from Oceanographic Images. IEEE:533-538
41 Suzanne M,LeaMatthew Lybanon. 1993. Finding meso-scale ocean structures with mathematical morphology. Remote Sensing of Environment,Volume 44,Issue 1,(4):25-33

42 Tony Lindeberg. 1994. Scale-space theory: A basic tool for analysing structures at different scales. Sweden Journal of Applied Statistics, (2): 225 – 270

43 Tony Lindeberg. Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales

44 Tony Lindeberg. 1994. Scale-space theory: A basic tool for analysing structures at different scales. Sweden Journal of Applied Statistics, (2): 225 – 270

45 Townshend J R G, Justice C O. 1988. Selecting the Spatial Resolution of Satellite Sensors Required for Global Monitoring of Land Transformations. International Journal of Remote Sensing, (9): 187 – 236

第4章　海洋时空数据模型

在第3章中,介绍了海洋现象的特征化和栅格化的相关理论。如此为本章的两类时空数据模型的提出进行必要的铺垫。这两类时空数据模型分别是基于特征的和基于场的。

4.1　海洋数据类型及特点

4.1.1　数据类型

随着海洋科学技术的发展与进步,海洋数据采集技术也日新月异,所能获取的海洋数据类型也更加多样化。在这些海洋数据中,既包括传统的断面、船舶报、站点等海洋观测数据,也包括ADCP(朱光文　1997)、ARGO(http://www.argo-cndc.org/legend/na_argo.htm)、航天遥感器、多波束回声仪(William　2001)等先进设备所获取的数据。相对于通过直接测量的方式获取海洋环境数据,航空和航天遥感越来越多介入到数据获取中。这些先进手段对于海洋数据获取,无论从数量、质量、分辨率以及精度来讲都带来了革命性的变化。

要将类型纷繁复杂的海洋数据投入实际的应用当中,首要工作就是对其进行相应的分类工作。海洋数据的分类标准有很多种,每一种分类标准都针对一定的目的,由此也就造成了不同的分类结果。如按照学科划分,可以将海洋数据类型分为海洋物理、化学、地质、生物、渔业、气象等诸多领域;如果按照海洋数据的时空形态来划分,则可以划分为海洋场数据和海洋点数据;在物理海洋学中为了研究的方便,一般将海洋数据类型分为海洋要素数据和海洋现象数据;按照数据源可以分为遥感数据、站点数据、海上测量数据、基础地图数据以及数值产品。下面对海洋数据从获取数据源的不同,分别对四类分别进行说明:

首先是遥感数据,这类数据主要包括航空海监飞机航拍数据;HY卫星数据、SeaWiFS数据、NOAA卫星数据、MODIS数据以及其他可购买的卫星数据;雷达数据;单(多)波束数据等。这些数据量非常巨大,成像周期短,有利于对一些突发问题进行研究。

其次是站点数据,在我国海洋站共有72个(韩家新　2003),长期验潮站有上百个(郑文振　1998),此外还有其他非日常观测站,在辽东湾海域内也包括大量的海洋站点。

再次是海上测量数据,主要包括各种大面和断面数据、浮标数据和船舶报数据。其中规模较大的专项调查数据包括国家海洋局和日本科技厅合作的中日黑潮合作调查(http://www.sio.org.cn/national/ywhz.php)、中美海—气相互作用调查、大陆架邻近海

域勘查、南沙群岛及其邻近海区综合考察、中国海岸带、海涂、海岛资源综合调查(国家海洋局 1980)以及大陆架调查等。通过这种方式获得了大量的实测数据。

另外还包括基础地图数据,这些数据主要是由国家测绘局完成的 1∶100 万、1∶50 万、1∶25 万、1∶5 万基础数据;地方 1∶1 万到 1∶5 000;各城市 1∶1 000 到 1∶500 基础地理数据。

除此以外,海洋数据中还包括海洋数值产品,这类数据主要是指从各种数据集中导出的数据,可以提供全球覆盖的盐度、温度和其他海洋变量等,如 Levitus 1982 版、1994 版和 1998 版等。

4.1.2 海洋数据特点

海洋数据由于测量方式以及自身因素等方面的原因,使其具有不同于陆上数据的独特之处。尽管在第 1 章中对海洋现象的特殊性进行过讨论,但在时空数据模型提出之前,有必要再次讨论海洋数据及其所反映的现象的特殊性。

1. 动态性

海洋无时无刻不处于动态变化之中,海洋数据也不可避免的具有动态性的特征。海洋数据的动态性特征表现最明显的是海洋现象的动态性。海洋现象的动态性不同于陆上的动态,陆上的动态一般不涉及全域的动态,往往是局部的,只是一小区域或其边界的变化,而且一经变化将持续较长一段时间。但是海洋现象每时刻都是变化的,而且都是全局性的变化。

2. 模糊性

海洋数据的模糊性主要表现在概念和边界界定上,由于海洋是动态的,所以有些定义不像陆地上那么精确,由此从概念上就产生了模糊性。海洋中的边界往往是模糊的,如其一海区的温度变化,其区域边界是模糊的,若人为划分出变化区域的边界,似乎是精确的区域边界,实质上是损失了信息,确切地说是给出了不精确的描述。

3. 时空过程性

海洋数据的时空过程性主要体现在海洋现象方面。海洋现象都具有时空过程性,不但存在于一定的空间范围内,还在时间上具有一定的持续性,也就是具有过程性。在海洋现象中,上一个时态的特点与下一个时态的特点是不同的,有一些特征发生了变化;以涡漩为例,上一时刻与下一时刻其涡漩中心、涡漩边界、涡漩面积等都可能会发生变化,而每个要素的变化对于研究涡漩来讲都很重要。由此可以看出,海洋数据的时空过程性在海洋研究中占据着非常重要的地位。

4. 时空粒度

海洋数据粒度不一,从许多海洋相关部门所获的数据来看,数据的粗细差别很大,有些是时空上或属性上是高层次的,也就是概括的,大粒度;有些是时空上或属性上是低层次的,也就是详细的,细粒度的。时间粒度是指记录数据的时间间隔,比如有以秒记录的数据,也有按天统计的数据。

4.2 时空数据模型概述

通过对海洋数据类型和特点进行分析，可以发现海洋数据具有时空多维性，为了更好的对其研究，就需要建立适合其特点的数据模型。在本节中对现有时空数据模型进行回顾与分析，针对现有模型在海洋应用方面所面临的不足之处，在下一节提出了适合海洋数据的两个时空数据模型。这里首先对现有时空数据模型进行分析。

时空数据模型可以有效的表达地理信息的空间三维和时态性，这方面的研究已经成为前沿领域和国际热点。近年来，国内外许多研究者(Clangran 1992)都致力于对其进行研究，在很多方面进行了十分有益的探索。通过对目前时空概念模型的回顾和分析，可以将其归纳为以下几类(崔伟宏，张显峰 2000)。

1. 时空立方体(Space-time Cube)

时空立方体也被称为三维立方体(Szego 1987，Samtaney 1994)是用一个立方体表示二维空间和一维时间的一种时空数据模型。该概念模型的思路简单明了，容易理解，但并不能反映目标间的时空联结和时空拓扑关系；另外也没有提出新的时空逻辑和数学算法，目前仅停留在最基本的思想阶段。

2. 时空快照序列(Sequent Snapshots)

时空快照模型是由一系列不同时间内的空间数据层所组成，该模型用一个时刻的空间数据层记录地理现象的状态，通过一系列不同时间内空间数据层的集合便可以反映地理现象的时空演化过程。这种模型起源于传统制图，并具有 Video 慢动作的特点，可以在传统的地理信息系统中使用。

该模型在某种意义上可以认为是时空立方体的时间离散化形式，因此继承了时空立方体的良好思想，并在一定程度上解决了数据集的时间属性问题，具有良好的应用前景。该模型虽然可以描述某一时刻目标的空间拓扑关系，但仅仅用模型却不能反映一个状态到另外一个状态变化的事件，也无法反映时空拓扑的时空关系，而且如果每一时刻都记录所有变化了和没变化的内容，数据冗余度大。

3. 基态修正模型(Base State with Amendments)

该模型是在时间序列变化的基础上，记录基本状态和地理现象的空间变化(图 4-1)。为了避免连续快照模型将每张未发生变化部分的快照特征重复进行记录，基态修正模型按事先设定的时间间隔采样，只储存某个时间的数据状态(称基态)和相对于基态的变化量。它同快照模型相比较，节省大量存储空间，减少了数据冗余量。Peuquest(1995)将其应用于建立地籍管理、土地空间变化查询并设计了 TGIS 原型系统。但该模型较难处理给定时刻的时空对象间的空间关系。

4. 时空复合模型(Space-time Composite)

时空复合模型是时空一体化模型(Langran 1988)，该模型是对不同时间段的地理现象叠加的结果，其实质上是对基于状态修正模型的发展。它将时空组合成为一个具体

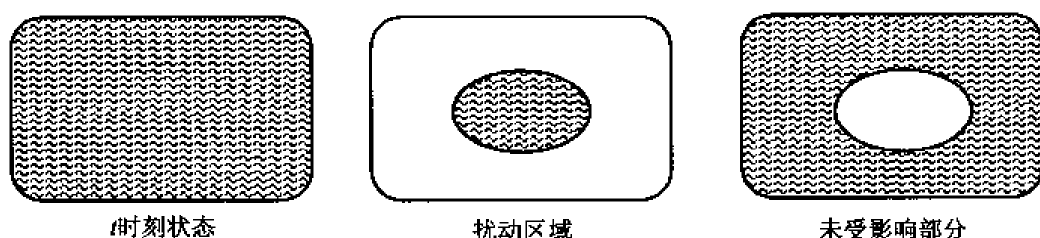


图 4-1 基态修正模型

的时空集，把三维的时空体变为一个二维的空间，通过非空间属性来说明时间序列产生的时空组合。但是由于该模型把所有变化放在同一层上并建立拓扑关系，将空间目标分成许多小的弧段，并且必须为空间目标中每一个新的弧段分配标志码，分割了空间目标的完整性。

时空复合模型使得按照地理目标进行查询十分困难。该模型在理解和实践上都存在比较多的困难，而最大的问题是时空复合模型不能使用现有的 GIS 系统实现，现有 GIS 系统在数据录入、显示和分析功能上都不支持将空间目标的多个版本放在同一数据层上，所以该模型很难实现。

5. 时空三域模型(Spatial Temporal Domain)

时空三域模型最早是由 Peuquet(1995)提出来的，最近几年国内外一些学者都在深入探讨时空三域模型的建立问题。时空三域是指空间域、时间域和专题域。在一般的时空模型中，通常忽略了专题信息，因此时空三域集成后比简单的时空模型更能反映地理现象的时空体。

时空三域模型，作为一个概念模型是一个进步。但是，由于专题域所涉及的领域非常广泛，包括自然、社会、经济等诸多方面，因此专题具有一定的不确定性。在这一概念模型下，如果脱离实际情况，想实现进一步的物理结构的设计是不可能的。

在这种数据模型中，时间位置成为用于记录变化的组织基础，时间维上的事件顺序，表达了地理现象的时空过程，时间轴(time-line)用事件表(events list)表达。事件表记录了地理现象已知变化的顺序变化过程，每个时间位置与地理现象已发生变化(已被观测到发生变化)的一组位置或特征相关联。在给定的时间分辨率下，只记录发生变化的时刻，在时间的组织上可以看作是时间游程编码，类似于记录空间变化的栅格游程编码。事件表达了状态的变化，事件表存储了与时间有关的变化，而且仅仅是变化。除了灾难性事件引起的突然变化外，变化也可以是渐变的。对于逐渐变化，记录的变化事件可以是从上次记录以来的累积变化量或按照特定的领域规则，关键问题是如何决定连续变化的时间位置。在基于事件的方法中，与每个变化相关的时间按升序或降序排列、存储，可以是任意时间分辨率。

时空三域模型将时空关系进一步提炼，并提出了一些方法，对实际应用具有很大的指导意义。

6. 基于特征的时空模型

基于特征的时空模型(M J Egenhofer 1999)是一种面向对象的技术，对空间对象以

类和实例对象两个层次来表达，近年该模型已成为研究热点之一。在该模型中，类是指具有共同特征的地理现象，如河流、道路、耕地等；对象则指具体的地理目标，如京沪高速、候机大楼等。

综合分析以上时空数据模型不难看出，虽然这些年来人们对时空数据模型进行了很多研究，成绩斐然，但是这些模型在表达海洋数据的时候都会出现一些问题。导致问题出现的原因主要包括以下三个方面：原有的时空数据模型都是在陆地应用中发展起来的，但海洋数据由于具有自身的特点，所以这些模型在表达海洋数据时都会存在一些问题；现有模型的时间性不强，只能记录某个或某几个时刻的状态，时间上不连续，基本上局限于 TGIS 的研究范畴；现有数据模型的空间连续性问题，海洋数据的连续性同陆地数据不同，海洋中的数据都是连续的、渐变的，海洋现象的边界具有模糊性；而陆地数据的边界一般是突变的、清晰的。

由于从陆地应用中发展起来的时空模型在海洋应用中存在着一些缺陷，所以在本研究中根据海洋数据的特点，提出了适合于海洋领域的海洋时空数据模型。

4.3 海洋时空数据模型

4.3.1 基于特征的时空过程数据模型

1. 数据结构模型

基于特征的数据包括两大部分，一部分是海洋中实际观测的数据，它分为两类：离散点观测数据和连续扫描观测数据。对于连续扫描的数据，可以用栅格进行组织；而航线或漂流浮标进行的“线”测量，也可以认为是由系列点构成。另外一部分是从海洋现象等数据中提取出来的一些点、线、面、体的过程特征数据，这些现象或对象，具有时间、空间、形态、属性动态的特性，这类数据模型是海洋地理信息系统与常规 GIS 数据模型的根本区别。在研究中，根据特征数据的形状将其分为点、线、面、体四类。下面分别对这四类特征数据进行说明。

1)点(MarinePoints)

在点特征中，可以将其分为两大类，一类是点观测数据；另外一类是点过程数据。

所谓的点观测数据主要是指那些可离散成点的观测，对于这些数据可以进一步根据有无纵深和时间序列划分为以下四类观测点：首先是无纵深、无时间序列的测点(Fixed-point)；其次是无纵深、有时间序列测点(TimeSeriesPoints)；再次是有纵深、无时间序列测点(InstantaneousPoint)；最后是有纵深、有时间序列测点(TimeDurationPoints)。

而海洋点过程数据，主要是指海洋现象中提取出来的一些特征点数据，如涡漩的中心点，对于这种海洋过程数据有时候可以用一些特征点来标识，这些点的数值和空间位置是随时间的变化而变化(DerivePoints)。

2)线(Marineline)

按照与点数据相同的分类方法，可以将线数据同样分为两大类。一类是线观测数

据，另外一类是线过程数据。

所谓的线观测数据是指那些由点观测数据聚合而成的数据，例如一条水深的测线数据。

对于线过程数据，可以根据线上各点属性值是否相同再进一步分为两类。一类是线上属性一致的海洋过程的线描述数据，在这类数据中，线的属性值和空间位置是随着时间的变化而变化的(Derivelines)；另外一类是线上每点的属性不一致的海洋过程的线描述数据，在这类数据中，线上点的属性值和空间位置是随时间的变化而变化(DeriveGrid-Lines)。

3)面(MarineArea)

对于海洋中的面状数据相对来讲则比较复杂，一方面面状数据可以看作是由一系列的观测点数据聚合而成；另外一方面也可以把面状数据看作是面状的过程数据；此外这些数据还可能是一些扫描数据如声呐、照片、卫星资料等。

对于其中海洋面状的过程数据可以进一步细分为面上属性一致的海洋过程数据和以及面上每点的属性不一致的海洋过程数据；即面上的属性值和空间位置是随时间的变化而变化的数据(DerivePolys)和面上点的属性值和整个面的空间位置是随时间的变化而变化的数据(DeriveGridPoly)

4)体

按照与海洋点、线、面同样的分类方案，可以将体数据分为两大类。首先可以认为海洋体数据即立体观测数据是由点观测，线观测和面观测构成，是它们组成的一个整体；另外也可以把体状数据看成是体状的过程数据。

对于海洋过程的体数据，同样可以根据体上属性是否一致再详细的划分为两类。一类是体上的属性值和空间位置是随时间的变化而变化的数据(Derivevolumes)；另外一类是体上点的属性值和整个体的空间位置是随时间的变化而变化的数据(DeriveGridvol-umes)。前者体上属性一致，面后者体上属性不一致。

2. 特征对象逻辑

以下将上述概念用 UML 构建关系，其中对于观测数据的表达部分类同于 ESRI 的海洋数据模型。但 ESRI 的海洋数据模型缺少对导出数据的表达。也就是对于空间位置、属性、组成随时间变化的海洋现象或对象并未进行考虑。这里我们也仅给出这类现象的一个概略描述，具体例子可参见第 14 章。

(1)特征-对象关系(见图 4-2，图 4-3，图 4-4)。

(2)对象表关系(见图 4-5，图 4-6，图 4-7)。

4.3.2 基于场的时空格网模型

基于场的时空格网模型，它是一种多级格网数据模型。在基于场的时空格网模型中，需要对海洋数据或海洋现象数据进行三方面的剖分：在空间上采用栅格进行离散化，具体栅格大小根据研究区范围以及研究的问题来确定；在时间上进行离散分段，时间间隔大小也需要根据研究对象来确定；在属性上要进行分层，具体的分层方法需要根据实际数据和现象进行划分。海洋中的场数据可以分为两大类，一种类型是标量场数据，另

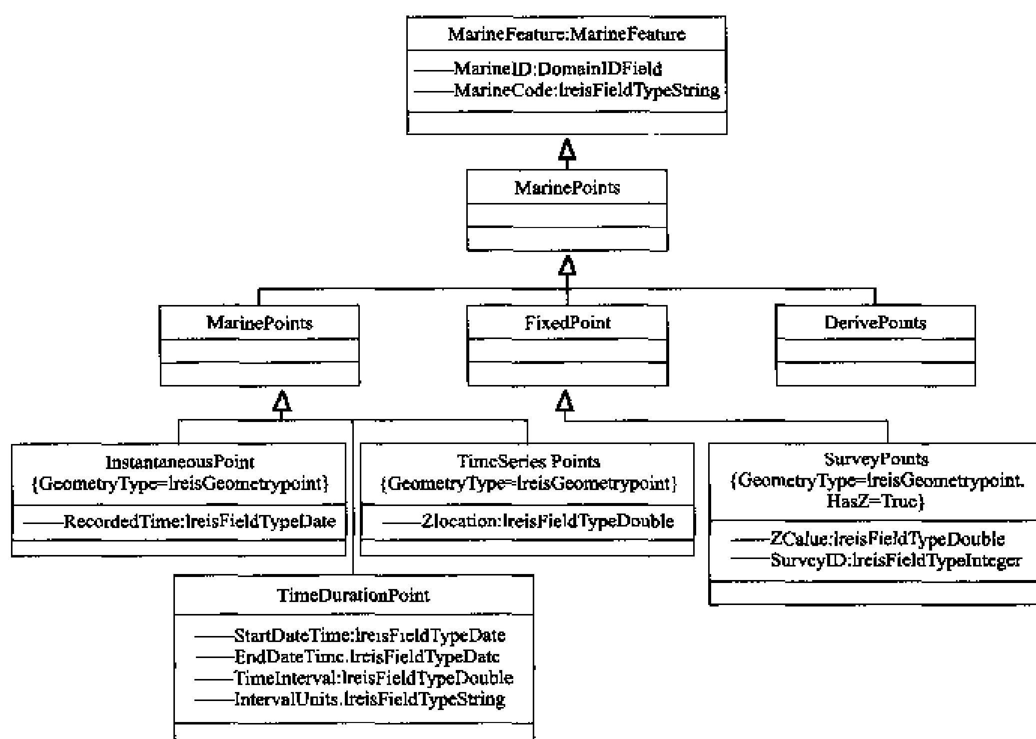


图 4-2　海洋特征点间关系

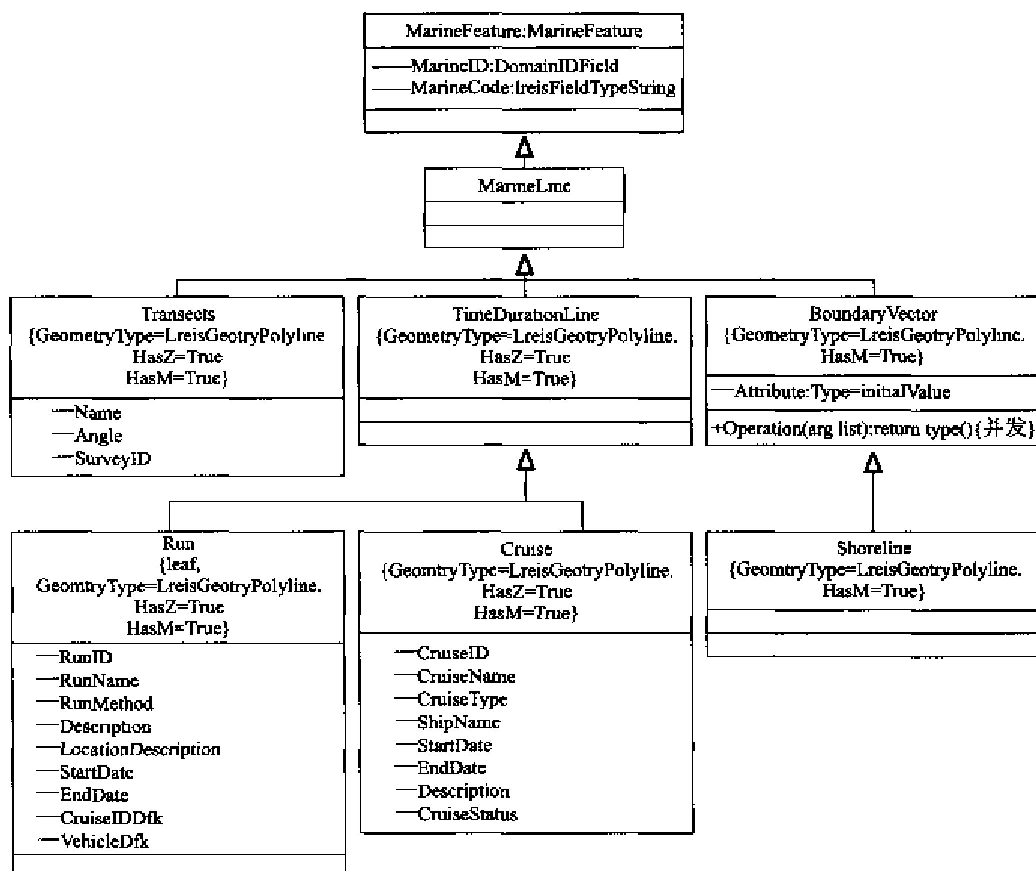


图 4-3　海洋特征线间关系

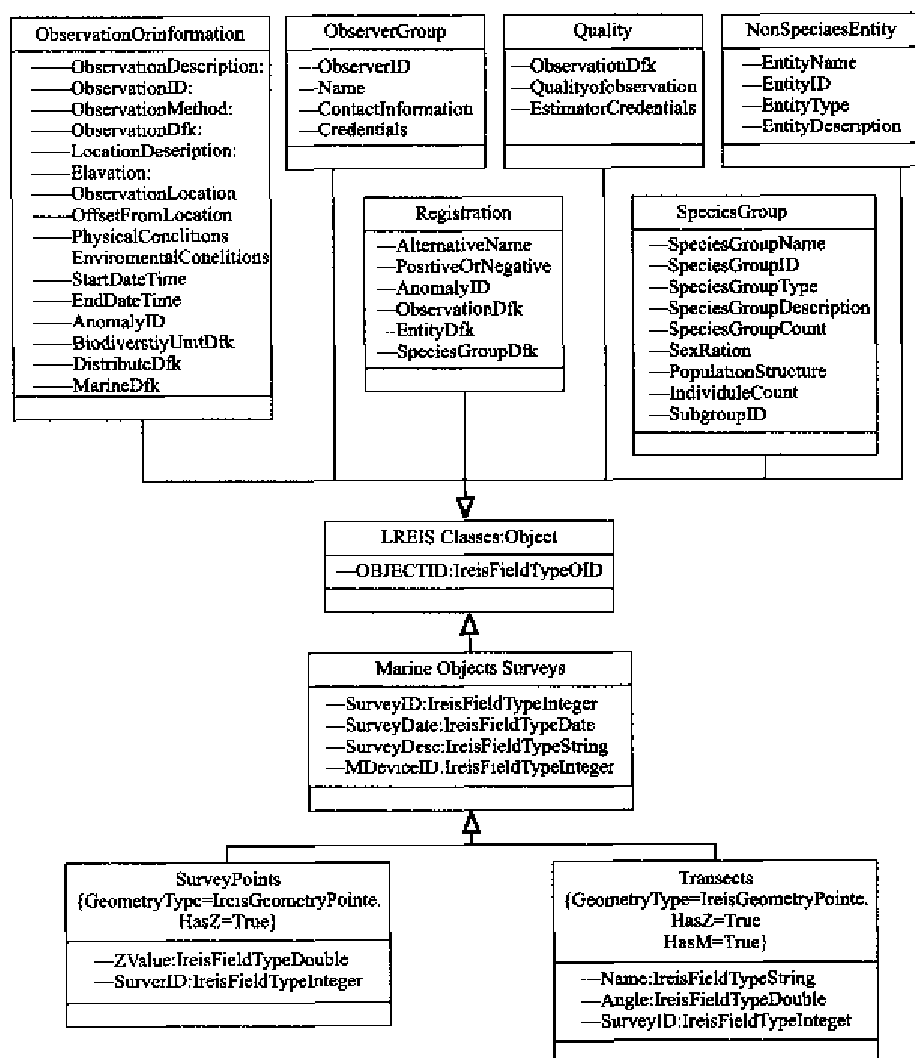
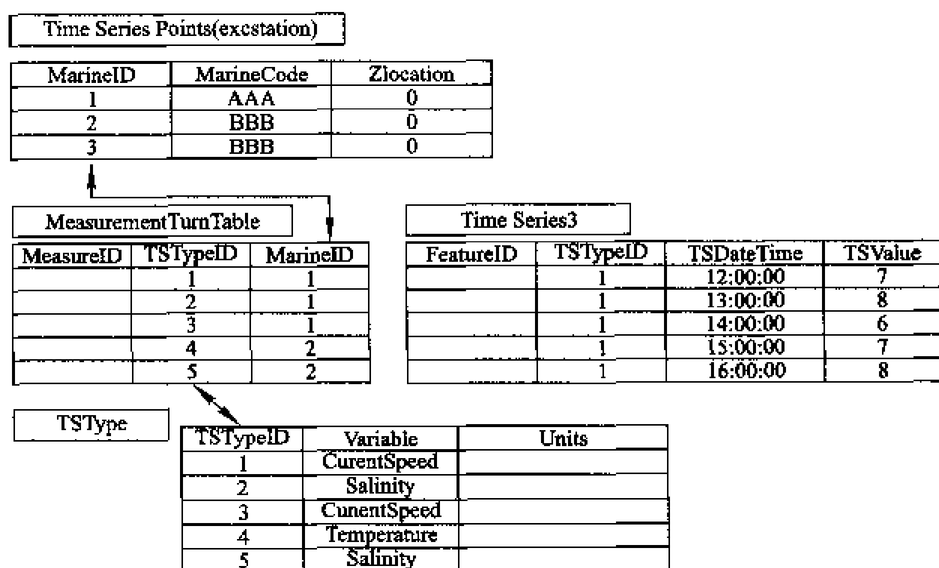


图 4－4　海洋对象关系



Time Series Points(excstation)

MarineID	MarineCode	Zlocation
1	AAA	0
2	BBB	0
3	BBB	0

MeasurementTurnTable

MeasureID	TSTypeID	MarineID
	1	1
	2	1
	3	1
	4	2
	5	2

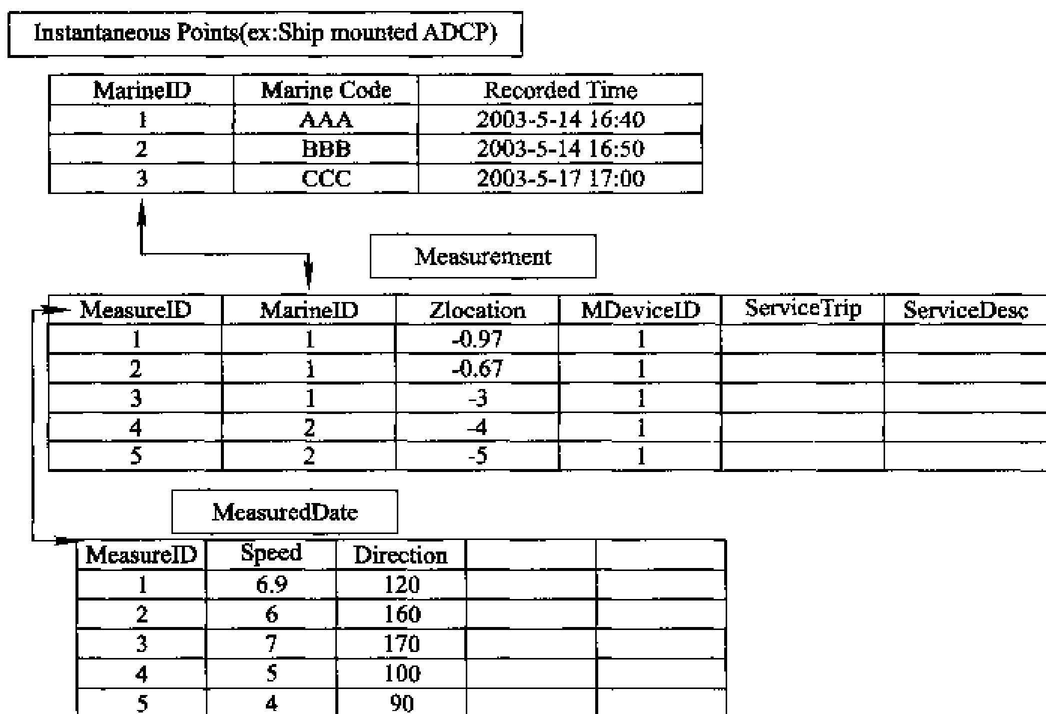
Time Series3

FeatureID	TSTypeID	TSDateTime	TSValue
	1	12:00:00	7
	1	13:00:00	8
	1	14:00:00	6
	1	15:00:00	7
	1	16:00:00	8

TSType

TSTypeID	Variable	Units
1	CurentSpeed	
2	Salinity	
3	CunentSpeed	
4	Temperature	
5	Salinity	

4－5　时间序列点描述表的关系



Instantaneous Points(ex:Ship mounted ADCP)

MarineID	Marine Code	Recorded Time
1	AAA	2003-5-14 16:40
2	BBB	2003-5-14 16:50
3	CCC	2003-5-17 17:00

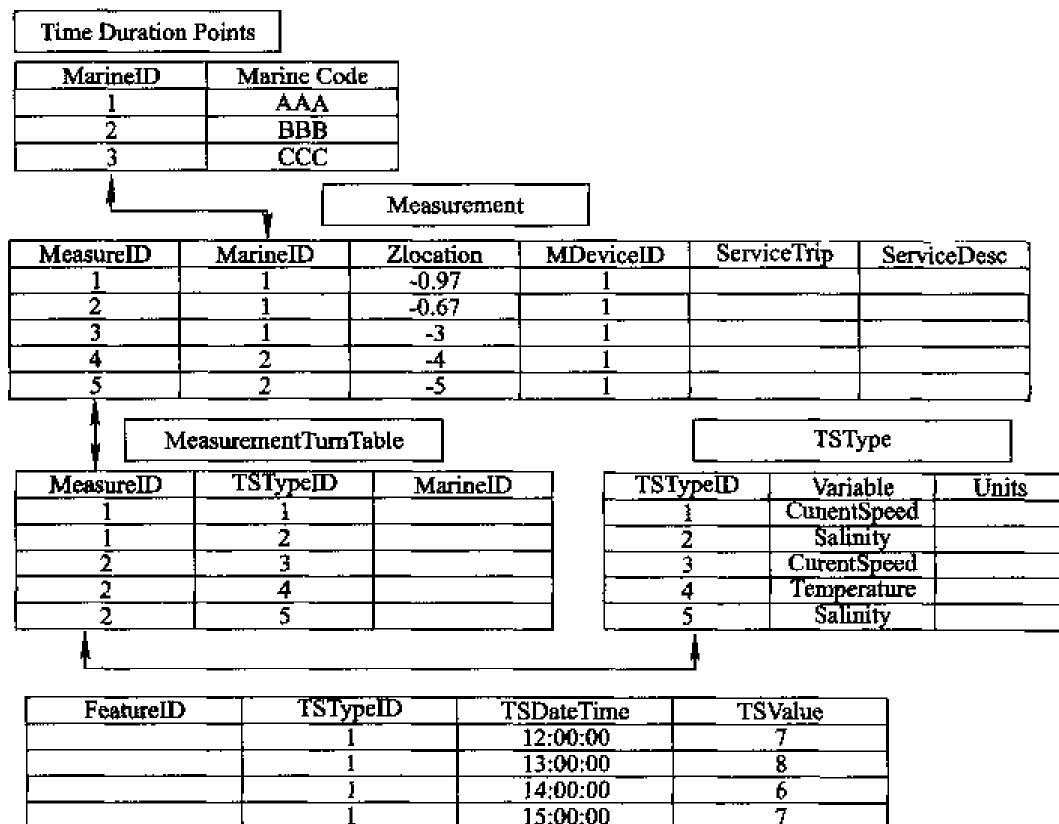
Measurement

MeasureID	MarineID	Zlocation	MDeviceID	ServiceTrip	ServiceDesc
1	1	-0.97	1		
2	1	-0.67	1		
3	1	-3	1		
4	2	-4	1		
5	2	-5	1		

MeasuredDate

MeasureID	Speed	Direction		
1	6.9	120		
2	6	160		
3	7	170		
4	5	100		
5	4	90		

图 4－6　瞬时点描述



Time Duration Points

MarineID	Marine Code
1	AAA
2	BBB
3	CCC

Measurement

MeasureID	MarineID	Zlocation	MDeviceID	ServiceTrip	ServiceDesc
1	1	-0.97	1		
2	1	-0.67	1		
3	1	-3	1		
4	2	-4	1		
5	2	-5	1		

MeasurementTurnTable

MeasureID	TSTypeID	MarineID
1	1	
1	2	
2	3	
2	4	
2	5	

TSType

TSTypeID	Variable	Units
1	CunentSpeed	
2	Salinity	
3	CurentSpeed	
4	Temperature	
5	Salinity	

FeatureID	TSTypeID	TSDateTime	TSValue
	1	12:00:00	7
	1	13:00:00	8
	1	14:00:00	6
	1	15:00:00	7

图 4－7　有时间序列和纵深的点描述表间关系

外一种类型是矢量场数据;标量场数据只有大小,而没有方向,例如温度、盐度,只需要一个量值就可以完成表达;而矢量场数据既有大小,也有方向,对其表达就需要分为两个部分,一部分来表达其方向,另一部分表达其量值。

1. 格网化方案

不管是全球范围,还是近海区域,都可以使用这种基于场的时空格网模型来进行描述。在这种模型中,首先要对空间进行离散栅格化,具体栅格的大小要根据研究对象本身的特征以及要求来确定,对于范围大的区域,所取的网格要大一些,反之亦然。在这里,仅以全球的格网化方案为例,对离散栅格化的方法进行探讨。

格网化的全球解决方案包括两种,一种是等角的格网系统,另一种是等面积的格网系统。第一种方案是标准情况使用的数据模型,适用于各种场数据,有时也可用于海洋现象数据集;另外一种是针对特殊应用需要而提出的,主要是针对高纬度地区和对格网的面积、形状要求特别高的使用情况而制定的。

需要说明的是,这两种方案都是以数据的存储和处理分析为目的的,在进行后期制图的时候,仍然可以采用其他合适的投影方案,例如采用我国陆地地图经常使用的高斯-克吕格投影等,采用适合大陆地形的艾尔伯投影等,这种制图形式的投影方式之间可以相互转换,以利于视觉感受的形式输出。

1)等角格网化方案

等角格网化方案是以全球经纬度作为基本格网来构建全球的格网系统,空间范围最大可以达到全球尺度,也可以小到非常狭小的研究海域,每个格网的大小根据具体问题而定。

等角格网化方案实际上是一种地球投影方法,目前在实际中已经得到大量应用。在这种投影变换中,经线和纬线之间永远保持垂直。赤道、子午线的长短都不发生变化;但是其他的特点则会发生变化,例如,除赤道外的纬线长度都会发生很大变化,特别是在高纬度地区,变化尤为剧烈,这样就使得格网的面积和形状等都发生非常大的变化。这种投影形式在卫星遥感领域经常被用到,而在陆地应用领域却甚少涉及,这是因为一般陆地研究区域比较小,经常是采用某种变化较小的投影方式,使研究区域接近于真实的形状和面积等。但是在海洋研究中,特别是海洋遥感的研究中,经常需要面对海盆尺度甚至全球尺度的海洋现象,因此,使用这种投影形式就更加符合实际需要。即使是研究中、低纬度的较小海域,使用这种投影方式仍然是一个比较不错的选择。

这一投影方法在解决大尺度问题以及中、低纬度问题时就已经能够满足要求,但是研究某些高纬度海域的问题仍然不能满足要求。这是因为在高纬度地区变形实在是太大了,完全失去了直观和易于使用的原则。当对格网面积和形状的视觉要求非常严格以及对中、低纬度海域表达不近人意等特殊情况下,一般会选用第二种投影方案,也就是等面积的格网系统。

等角格网化方案一般采用 9 km 格网系统,这种方法在忽略椭球效应的前提下,将子午线划分成等距离的 2 048 份,将赤道和纬线等分为 4 096 份。由此,生成了一个以经度和纬度为格网系统的坐标系,在这个坐标系内,经线和纬线形成边长“相等”的小格子(见图 4-8)。在 9 km 格网系统中,经常会用到位图坐标与经纬度坐标的转换计算。以位图

的起始点是(180°W,90°N)为例,假设位图的起始点是(180°W,90°N),那么对于 9 km 的格网来说,每个格网相当于 360/4 096degree/Pixel,(若格网为 18 km,则为 360/2 048,依次类推,54 km 时为 360/720 或 0.5degrees/pixel),即 9 km 时 $dx=0.087\ 890\ 6$,(18 km 时 0.175,54 km 时为 0.5),dx 作为一个常数可以用于以下方程来计算经纬度:

$$\text{longitude}=(i-1)\times dx.+x_1$$

$$\text{latitude}=y_1-(j-1)\times dx$$

其中,i,j 分别代表格网的中心位置坐标,(x_1,y_1)代表起始点的经纬度坐标,对于 9 km 格网而言,$x_1=-179.956$,$y_1=89.956$,18 km 格网 $x_1=-179.912$,$y_1=89.912$。

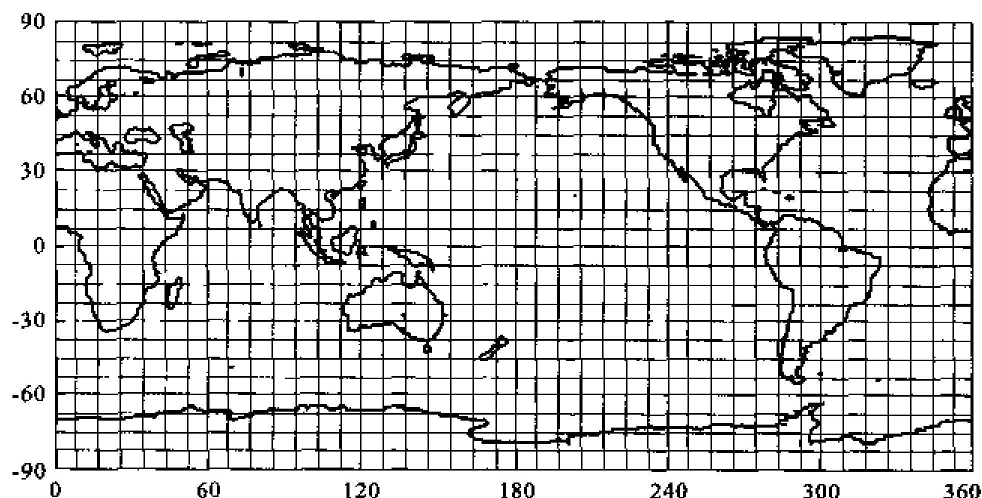


图 4-8 等角格网化方案示意图

2)等面积格网化方案

等面积格网化方案(如图 4-9)的重要特点在于不但可以形成具有基本排列规律的矩形格网体系,并且兼顾到以后数据处理和存储能力的结合,它一方面需要考虑到潜在空间海洋数据的应用,另一方面还需要设定常用的最小空间分辨率。

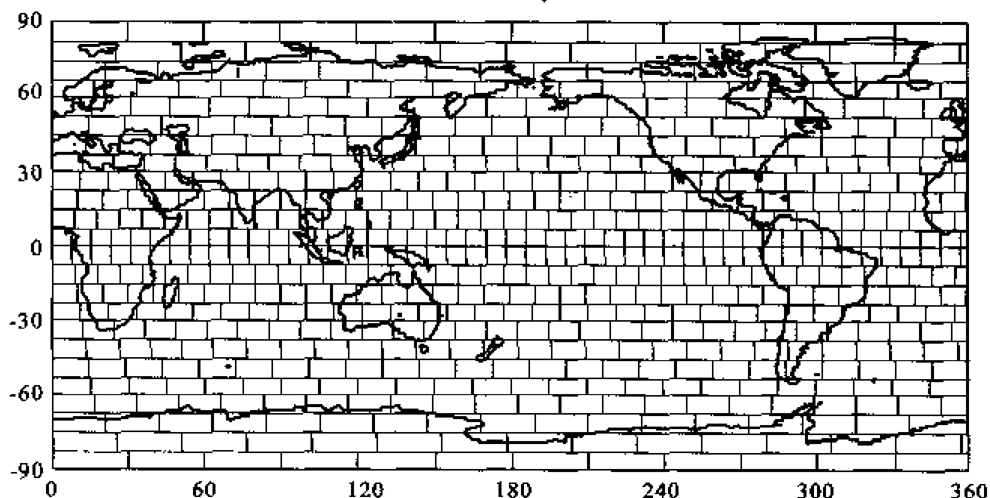


图 4-9 等面积格网化方案示意图

全球格网方案中每个矩形格网的边长大小约是 9.28 km，之所以选择这个分辨率是因为：

这个分辨率是适合常用海洋数据的最小空间分辨率之一，在实际中经常遇到的分辨率或者与此类似，或者可以是它的整数倍。此外，如果将地球考虑为球体，那么将子午线等分为 1 080 段长度，则每一段长度为 9.28 km。

在这格网系统中整个行数是偶数，没有格网是跨骑赤道两侧的，在赤道两侧格网数据完全相同，这种设计可以有效地防止在海洋数据分析中科氏力参数为零的情况，因此对于包括数值模型在内的海洋数据存储和处理都非常适合。

在 9 km 格网分类方案中，所有格网的数目是 5 940 422，这些格网按照纬线的形式排列，在每一行中的格网数目是不同的。设定在赤道的两侧最靠近赤道的行的格网数目是 4 320，这个数目实际上是对赤道周长等分后得到的结果，即 $2\pi R_e/9.28$。式中：R_e 为地球赤道半径，其值取 $R_e=6\ 378.145$ km。在这种情况下每一行中格网的数目随着纬度绝对值的变化而变化，这种变化实质上是一种余弦函数的变化（图 4-10）。当然更合适的格网分割方法是将地球的椭球体性质也考虑在内，这样每一行中的格网数目将会有一点微调。在这里只是介绍方法，所以还是按照球体来处理。在南极和北极点上，假定这一行的数目是 3，这种处理方式在面积量算上比较合理的。

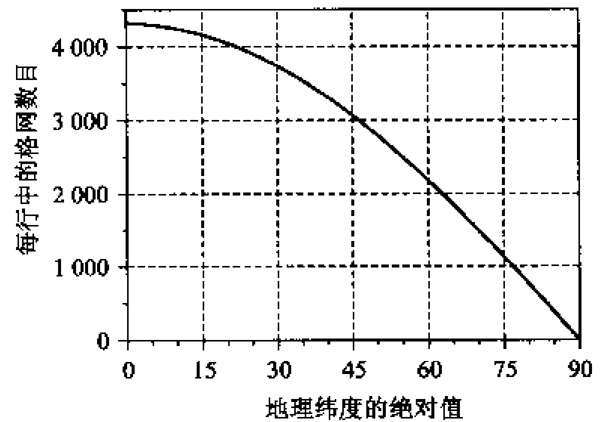


图 4-10 每行中格网数目随纬度的变化
（其中，假定赤道上为 4320，两极为 3）

在全球 9 km 格网方案中，每一行中的格网数目必须是整数。为了保证这一点得到实现，就要求每一行上的格网沿纬线的长度作一些微小调整。由前面可知格网在经线方向（即 y 方向）这个长度恒定为 9.28 km，因此在每一行中所有格网的纬线方向（即 x 方向）长度都需要进行微调。确定每一行中格网数目的方法如下：首先需要初步估算纬度 L 所在行中需要的格网数（N_p）：

$$N_p=2\pi r/X$$

式中，X 是赤道上 x 方向上的距离（9.28 km），r 为纬度 L 处的小圆半径，r 的计算公式：

$$r=R_e\cos(L)$$

R_e 是地球赤道平面的半径。如果 N_p 的小数部分小于或等于 0.5，则直接取 N_p 的整数部分，反之，则取 $N_p=N_p+1$。当 N_p 确定以后，这一行中的格网的大小也随之确定，对于每一行来说，这个值都有所不同。

由于为了追求在 x 方向上每一行都是整数，必然导致每行之间的格网多少不同，在这种情况下，等面积的定义将受到挑战，下面就这一问题作一简单探讨。这些由于整数化所带来的误差相对于地球的各个纬度带来讲是微乎其微的，只有纬度范围非常高时，才会出现误差比较大的结果。从极点到赤道，误差由大到小。即使在最坏的情况下，假设某一行被 9.28 除以后恰好是 $n+0.5$（n 是自然数），即最后一个格网刚好被

终点线所平分，如果该行有 100 个格网，即从极点开始是第 16 行(距离极点为 148 km)。这时，半个格网的距离被大约 100 个格网所平分，误差大约是 0.5%。对于一个大约 9 km×9 km 大小的格网来讲，0.5%实际上也就是 45 m 左右。依此类推，即使距离极点 80 km 的行具有 50 个格网，其相对标准格网的单边距离误差及面积误差都大约只有 1%。

在该网格化方案中地球周长被平分为 2 160 个 9.28 km 的格网，这一个数字还有其他的意义。1 080 是 2 160 的 1/2，这个数可以被是包括 2,3,4,5,6 等的很多整数整除，这在构建新分辨率的格网过程中是非常有利的。在这种情况下很容易构建新的格网，对于更小的格网可以根据需要采用合适的拆分方式，更大的格网则适合用很多常数进行简单的合并。例如，12 行 9.28 km 格网经过合并后，可以产生一个相当于 1 度的大格网(一个地理纬度相当于实际距离 111.12 km)，12 个格网的宽度是 111.20 km，仅相差 80 m；在海洋中，一般常用的精细格网也都是以经纬度计算的，9.28 km 格网实际上大约相当于 1/12 经纬度格网。

9 km 格网化方案在地球的两个极点处，情况会比较特殊。因为在极点处会形成一个圆形区域，而且会被 3 个格网平均分割成 3 个扇形，子午线的长度仍然是 9.28 km，而经线的长度则稍微大一些。如果忽略地球的椭球体特征，那么这个圆形面积是 πX^2(其中 $X=9.28$ km)，将它平均分为 3 个格网，则每个格网的的面积由其 X 方向的格网边长决定，也就是 $\pi X^2/3$(大约 $1.05X^2$)。不难看出，极点附近的格网要比赤道附近的格网大 5%左右。

NOAA 的 Pathfinder SST AVHRR 数据就是采用这种数据格网化方法，它最初是由迈阿密大学的研究小组发明并得到广泛应用。这一方法在扫描式遥感数据储存方面具有非常好的效果，并且适宜向其他数据类型推广。

2. 时空格网数据模型的优点

对于海洋数据采用时空格网形式的数据模型，有很多的优点，具体体现在以下两个方面：

1)符合数据获取及存储规律

海洋数据中各种遥感观测数据以及通过数值模拟获得的数据，都是以栅格形式获取和存储的。遥感观测所获取的数据是比较标准的格网数据，每一个观测值都代表了某一个瞬时视场的平均状况，例如 MODIS、AVHRR 等遥感数据的观测原理、数据获取存储等都是以栅格为基础的。由数值模拟获得的数据一般也是栅格形式，这是因为在数值模型初期就必须进行对计算网格的剖分，而且需要给出一定的时间步长，在此基础上完成各个要素的位置分配，通过不断的循环迭代计算后，给出一个代表网格平均结果的数值。根据目前的计算结果来看，无论这个要素值是定义在网格的什么位置，是在中心，或者顶角等等，都可以归纳为网格的平均状况。

对于现场实测数据通常是离散点形式，具有一定的规律性，即采用大面或者断面调查的方式，时间(准)同步，一般是三维立体结构。严格地说，不具有格网特点。但是在处理很多研究和应用问题过程中，离散采样实际代表的是断面或者大面等的平均状况，也

就是说,对实测数据的处理通常有一步操作,是从采样数据推断未知数据的过程。这个过程最常用的仍然是统计学,并发展了空间统计学的研究分支。通过处理以后的数据,也能符合这种栅格存储模型。

对于非成像式遥感观测数据可以看作是二维的实测数据,是散点状的平面(海表面)数据,这些数据的存储规律可以参考实测数据的形式。

对于时间上的分段,则更能反映海洋数据的过程性特征,符合海洋的时变性特征,而且可以通过对多时间数据的叠加来研究其变化规律。

2)格网形式简单直观、高效灵活

时空格网模型中的格网形式直观、简单、实用,但仍然保持了严密性和各种可扩展功能,可以灵活地运用,满足当前的各种需要。

格网形式除了形式比较简单以外,在图形运算处理方面算法更容易实现,便于叠加及其多要素的综合分析;格网形式拓扑关系简单,更容易实现拓扑分析功能,并具有比较强的并行处理能力,此外还具有很强的表达空间变换的能力。因此,格网形式在空间分析、图形运算处理等方面也都更容易实现,功能也更加强大。格网形式的这些特点是矢量形式数据所不容易实现的,由此也更受到使用者的青睐。

格网形式同矢量形式相比,缺少了矢量构图的精确性。理论上,格网大小可以无限细分,但是在实际中是不可能的。一般来讲应该在能够保证一定精度的情况下,来确定网格的大小。反之,如果对格网进行细分,需要的存储空间会非常巨大,当格网细分到一定程度以后,这一个问题就更加突出。

4.4 时空数据模型在海流现象表达中的应用

在上一节中探讨了海洋数据的两种数据模型,在这一节中将以海流现象为例,分别以欧拉和拉格朗日两种海流表达方式,来探讨时空数据模型在海流表达中的应用。在本节中将首先对海流进行概述,在此基础上,对于海流的欧拉方式,采用基于场的时空格网模型进行表达;对于海流的拉格朗日方式则采用基于特征的时空数据模型进行表达。

4.4.1 海流概述

海流是海洋中最主要的动态变化矢量场,也是物理海洋学中的核心研究对象,还是其他海洋分支学科的重要研究依据。海流是海洋现象中非常独特的一种,海流既包括实测数据,也可以把海流看作是场数据,还可以把海流看作是海洋现象数据。正是基于上述原因,选择海流现象的表达作为时空数据模型的应用实例进行分析。

归纳海流形成的机制,基本有两种成因。第一种是由海面上风的驱动而形成的风海流。这种流动是由风应力作用于海面,借助水平湍切应力向深层传递动量而引起的海水流动。第二种是由海水的温盐变化而引发,因为海水密度的分布与变化直接受温度、盐

度的支配，而密度的分布又决定了海洋压力场的结构，这种压力场的等压面往往是倾斜的，即等压面与等势面不一致，这就产生了一种引起海水流动的力，从面导致了海流的形成。

通过对海流数据的分析，可以知道海流主要包含以下五方面的信息：

①海流最大流速、流量、流轴、流幅、边界、最大可达深度等；

②海流的流核及其位置、个数、间距等；

③潮流、沿岸流、逆流、上升流、下降流等及其相关特征；

④涡及其特征，包括：中心位置、旋向、尺度、成熟度等；

⑤流场特征量的梯度变化及其时间变化(年、季、月)特征。

以上这些数据具有一些共性，主要体现在空间几何矢量特性上，即它的基础观测数据都具有三维、动态矢量场的特点。不同之处在于对其进行归纳的信息种类不同，关心的要点不同。因此在考虑海流矢量场的时候，应该更多地增加算法和模型进行描述。

4.4.2 海流的欧拉方式表达

1. 海流欧拉数据获取

实测资料是了解海流规律的基础，但由于各种原因，使得海流实测资料的获取比较困难。目前，常规的海流观测方式多种多样，包括在海区布设锚碇浮标或潜标的定点连续观测；在研究海域施放漂流浮标，或通过卫星对浮标的漂流轨迹进行跟踪的漂移测流；还有利用船只进行的断面走航式测流。观测仪器有安德拉海流计，S4 型电磁海流计及 ADCP 等。一般海流观测要素包括流速和流向，观测时间应不少于 25 h，观测方法大体划分为随流运动进行观测的拉格朗日方法和定点的欧拉方法。

获取海流数据除了现场调查外，可利用卫星遥感资料结合实测数据通过反演而获得，也可通过数值模式进行时空的扩展，形成时空覆盖较完整的流场资料。

2. 流场的常规表达

(1)断面平均流速矢量：断面平均流速矢量表达调查海区的实测海流流向，在这种情况下，水文断面的设置应尽可能与经过观测海区的主导海流相垂直。其常规表达是将所获取的断面测流资料绘制成平均流速的矢量分布图。

(2)大面流场的分量表达：一般来讲，大面流场的分量表达是通过遥感、数模与现场实测资料结合，生成空间覆盖完整的流场资料，然后利用这些资料，绘制每个分量各层的水平、垂直分布图，如北分量表层水平分布图，其表达形式可参考图 4 - 11。

(3)大面流场的矢量表达：更常用的是流场各层的矢量图，其表达形式可参考图4 - 12。

(4)定点时间序列：通过悬挂式海流计或 ADCP 可获取海流的时间序列资料，它的表达形式称为过程矢量图，见图 4 - 13。

(5)流径资料：通过漂流浮标可获取流径及其流速。

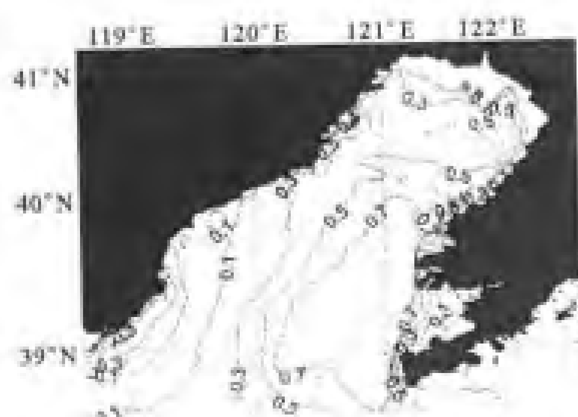


图 4－11　辽东湾潮流北分量等值线图



图 4－12　辽东湾潮流矢量图



图 4－13　定点时间序列图

3. 基于场的时空格网模型的应用

通过应用基于场的时空格网模型，可以很好实现对海流欧拉方式的表达。下面从基于时空格网模型的属性分层、时间分段及栅格化三个方面分别进行探讨。

1）属性分层

传统流矢量场可用海流的两个分量：东分量（记为 u 分量）和北分量（记为 v 分量）进行表达，利用基于场的时空格网模型可以用两个属性层加以表达，如图 4－11 和图 4－12。可满足相关分析，比如由这两个分量合成的流矢量和流椭圆及相关分析。

在海洋地理信息系统中，流矢量和流椭圆分析方法能得到流场结构及海流的性质特征，但它们也存在缺陷。事实上，u 分量层或 v 分量层的任何一个属性层均不能反映实际海流情况；这两个分量层合成分析得到的流场结构，在 GIS 中也不适合作许多自动或智能分析。为此，我们提出流矢量场的一种新的 GIS 表达方式，它不仅可以以各分量形式分析得到海流结构，更重要的是可以使海流数据进入 GIS 得到海流结构并进行更加全面和定量的分析研究。

由直角坐标系与极坐标系的等价关系，我们可以将直角坐标下流矢量的两个分量 u、v 转换为极坐标系下的两个分量流矢量方向角 θ 和流矢量大小 r 来表示流矢量场。u、v 与 θ、r 的关系为 $\tan\theta=v/u$ 和 $r=\sqrt{u^2+v^2}$，则 θ 的计算公式如表 4－1 所示。

表 4－1　流矢量方向角计算公式

	$v>0$	$v<0$
$u<0$	$\theta=\pi+\arctan(v/u)$	
$u=0$	$\theta=\pi/2$	$\theta=3\pi/2$
$u>0$	$\theta=\arctan(v>u)$	$\theta=2\pi+\arctan(v/u)$

如此，我们便可以建立从直角坐标系下流矢量分量向极坐标系下流矢量分量转换的方程。属性合理分层后会对海流现象的研究产生比较多的优点。

下面以极坐标下海流属性分层为例，对基于场的时空格网模型中属性合理分层在海流研究中的优点进行说明。选取渤海海流为研究对象，进行了流矢量场的极坐标转换，将原流场数据 u、v 分量通过上面的公式转换为极坐标下的分量 θ、r，并做成等值线图和色阶图(分别见图 4－14 和图 4－15)。通过对比分析后，可以得极坐标下海流属性合理分层表达有以下优点：

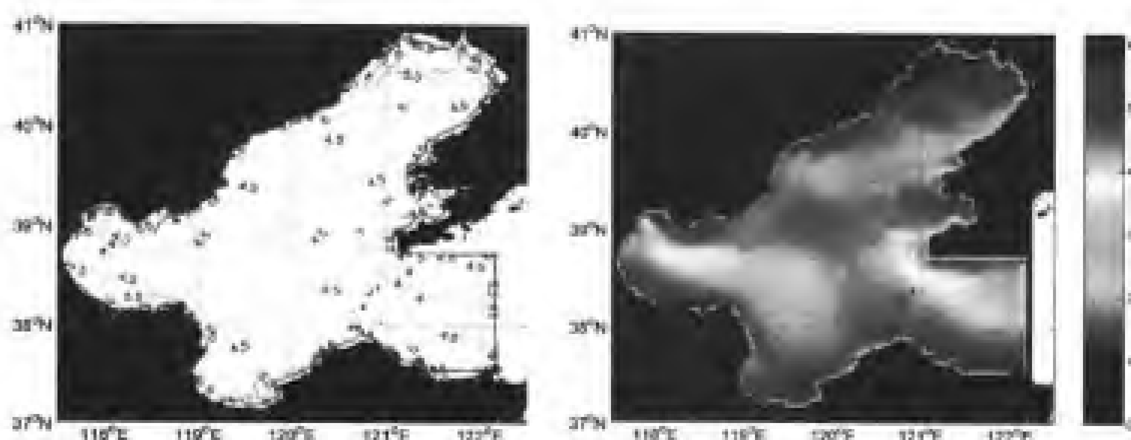


图 4－14　流向角 θ 的等值线与色阶图

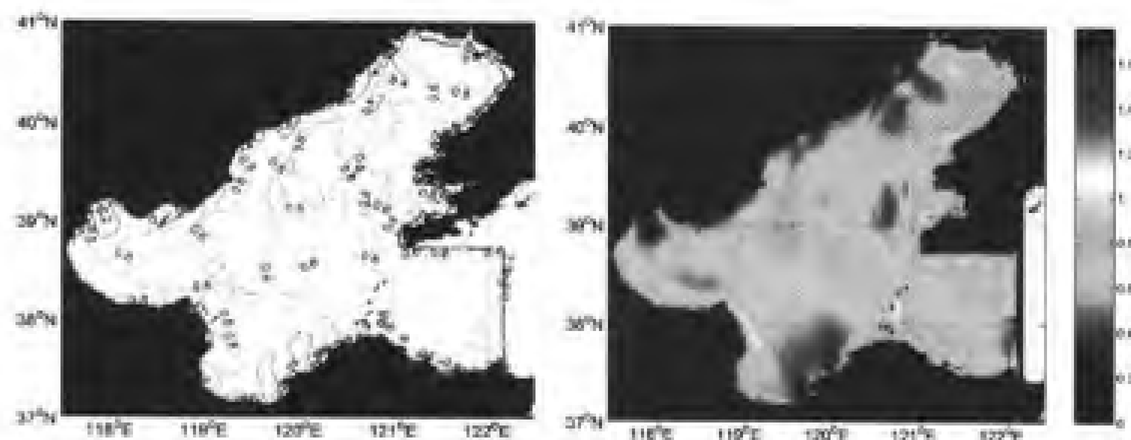


图 4－15　流矢量大小 r 的等值线与色阶图

(1)表达及显示效果好。在极坐标方式下，对于流矢量大小 r 可以作成灰度图或者色阶图。在这种情况下，流量值大小直观明了，可以通过渲染的方式来增强其显示效果，如此这种方式表达的海流值的大小与实际相符合。而传统的方法是将海流值分解成 u、v 两个分量，我们不能根据图上某点在一个分量上数值的大小来确定海流值实际的大小。传统的 u、v 方法可以参考图 4－11 至图 4－12，极坐标方式下流向角 θ 可以参考图 4－14；流矢量大小 r 可参考图 4－15。(由于数据的关系，在这里以潮流为例进行分析说明：图4－14中，流向角 θ 取值范围是 $0\sim2\pi$，东为初始值 0，逆时针旋转，图像为瞬时潮流流

图;图 4－15 中流矢量大小 r 单位是 m/s)

(2)有利于对角度进行分析。对于传统的 u、v 方法,其角度表示只有通过 u、v 来进行计算才能得到,具体的计算公式见表 4－1。在极坐标表示法中,可以通过流向角 θ 等值线图、灰度或色阶图很清晰的看出海流角度的大小,并可以清楚地表达海流转向处。等值线图对于研究流的结构等很有帮助。

(3)有利于反映流场的梯度变化。在传统的 u、v 方法中,对于梯度难以进行表达,只有通过对其进一步的分析以后才能获得这方面的数据。但是在极坐标下通过将流进行合理分层,就可以根据流矢量大小 r 和流向角 θ 的等值线图和灰度图的变化特征进行分析,可以找出梯度变化大的区域,为进一步的分析奠定基础。

(4)有利于提取海洋现象特征。通过绘制极坐标下的流矢量大小 r 和流向角 θ 的等值线图和灰度图,可以比较直观的反映流场的结构,容易判断出涡以及逆流等信息的存在。此外,还可以通过一些模式来对海洋现象进行提取,这在传统的 u、v 方法中是不可能直接实现的。

(5)与矢量图之间的操作方便。极坐标下的流矢量大小 r 和流向角 θ 的等值线图和灰度图,与矢量图叠加方便,操作简单,更有利于制图输出等功能实现。

通过上述分析,不难看出极坐标下流矢量场的属性合理分层表达既符合流场的规律,又比传统的 u、v 分量表达方式具有优势,由此可以看出对于海洋现象合理进行属性分层是非常有意义的。

2)栅格化及时间分段

基于场的时空格网模型对海流欧拉方式进行表达时,需要对海流空间上进行栅格化,前面已经介绍了两种全球化的格网化方案。但是对于具体的某一个区域,针对不同的研究目的,栅格的大小要求也不一样,在海洋学中还需要结合区域与模型进行栅格划分,在这里不深入讨论这一问题。

栅格化以后,每一个栅格点上都有一个海流的属性值。由于海洋现象具有过程性,所以在研究海流现象的规律时,需要对时间进行分段处理,这样可以更好的显示每一个时间间隔海流的变化情况,从而揭示规律。对于海流的时间分段,同样也要根据不同的研究和应用目的来选择不同的时间间隔,在这里同样也不深入探讨这个问题。

如图 4－16 所示,为某区域海流大小 r 场随时间变化图,栅格大小为 0.1 km×0.1 km,时间间隔为 5 h,从图中我们可以很清晰的看出流场变化的趋势和规律。

综合分析基于场的时空格网模型在海流欧拉表达中的应用,可以发现通过对属性进行合理分层、空间进行栅格化和时间上进行分段以后,使得海流的欧拉表达方式可视化增强、也更能反映海流本身的规律,所有这些都为进一步深入研究奠定了良好的基础。

4.4.3 海流的拉格朗日方式表达

1. 海流的拉格朗日数据获取

海流也可以实现拉格朗日观测,如使用漂流瓶等就可以获取有关流径资料,通过漂流浮标一般可以得到的流径及其流速,是流径数据的一般表达形式,这种数据的存储可以通过基于特征的时空过程模型来进行存储。海流的拉格朗日可视化表达应该是能够

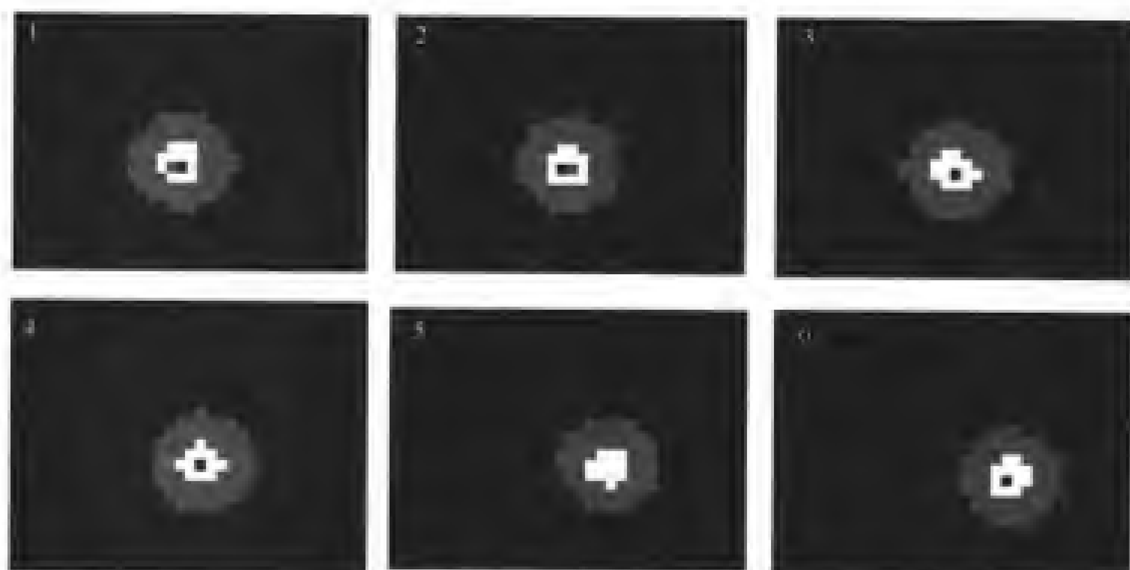


图 4-16 某区域海流随时间变化图

体现海水的流动，海流的拉格朗日表达更需要对关心的诸多海流技术指标进行细致的描述，具体的内容可见表 4-2。显然，对于这种方式的表达不能简单的将其归为哪一类数据模型，而应该根据所选取的指标、所要表达的目的来确定。

表 4-2 海流的参数指标

类别	指标名称	时间属性季节划分	字段类型	主要关联属性	编号	备注
环境场	密度场	√	格网	2、3、4	1	
	温度场	√	格网		2	
	盐度场	√	格网		3	
	密度跃层	√	曲面	1	4	
	海面风场	√	格网	6	5	
	风海流	√	矢量格网	5	6	
	潮流	√	矢量格网		7	
	零流速面	√	曲面		8	
	水团配置	√	曲面		9	
	非水团式涡旋	√	曲面		10	
	陆地径流		数值		11	
海流	属性		字符		12	三维
	流幅	√	曲线		13	
	流轴	√	曲线		14	
	边界	√	曲面		15	
	涡 1	√	格网		16	
	涡 2	√	格网		17	
	……	√	格网		18	
	流核 1	√	水团		19	

续表

类别	指标名称	时间属性季节划分	字段类型	主要关联属性	编号	备注
海流	流核 2	√	水团		20	
	……	√	水团		21	
	动力地形 1	√	格网		22	
	动力地形 2	√	格网		23	
	动力地形 3	√	格网		24	
	……	√	格网		25	
	流速分层 1	√	矢量格网		26	
	流速分层 2	√	矢量格网		27	
	流速分层 3	√	矢量格网		28	
	……	√	格网		29	
	流量 1	√	数值		30	
	流量 2	√	数值		31	
	流量 3	√	数值		32	
	……	√	数值		33	
	第一强度	√	数值	30	34	位置
	第二强度	√	数值	26	35	
	流线	√	曲线		36	与流轴不同
	轨迹	√	曲线		37	Lagrange 描述
变异	时间平均		格网		38	
	季节平均		格网		39	
	位置变异	√	曲线		40	
	流速变异	√	格网		41	
	流量变异	√	数值		42	
	时间变异	√	格网			

注:没有数据的可以设置为空。"格网"指的是标量场形式。

相对来说,欧拉方式的海流数据更容易获得,这不仅因为观测时大多是以定点观测为基础,而且大部分数值和数理模型都是以欧拉方式表达的。拉格朗日描述的获取方式通常有:实测数据、根据欧拉场数据计算、数值模式直接获取三类途径。

根据欧拉场数据计算得到拉格朗日场是经常遇到的问题。下面以平面遥感影像为例,讨论这种方法,可以分为一幅遥感图像和多幅遥感图像两种途径。根据一幅遥感图像的基本原理是,假设一幅遥感影像可以看作是大面同步数据,根据海流的基本原理,则该遥感要素的等值线就可以大致代替该海域的海流方向。此方法称为等值线法,在实际计算过程中,还需要对该等值线进行一些修正。值得注意的是,基于一幅遥感图像的方法得到的是欧拉流,也就是针对整个空间位置的同时刻的海流。根据二幅遥感图像则可以得到 Lagrange 形式的海流。基本原理是跟踪流体微团,以间隔为等潮周期的二幅遥感图像来计算海流。流体团的选择种类很多,原则是保守性要好,可以在连续的遥感图像上得到相关的信息。

根据数值模式直接获取,可以采用如涡度法等数值计算方法,或者根据关于浅海的

环流理论进行相关计算得到。考虑重视二维平面或者全流形式的问题，在一些港湾中应用较多，这时采用如涡度法，并采用粗格网形式的计算方法，预计可以取得较好的效果。目前的数值模型，基本上是矩形格网的欧拉方式，虽然在很多时候是比较理想的，但并不能保证在任何时候都取得很好的效果，因此在某些问题中，最好采用涡度形式的 Lagrange 方式，并结合粗格网方法。

2. 海流的参数指标及基于时空模型的表达

在海流的欧拉表达中已经提及，通常情况下，从海流的流场数据分析中希望得到流速、流轴等五种指标。

制定这些指标的出发点是能够反映海流部分的水体与其他水体存在差异，这种差异可能存在于水体速度上，也可能存在于其他要素上，同时能够反映这种差异的时间属性，给出空间差异的时间变化过程。因此，从整体上可以分为环境场和流场两个部分，前者是对更大尺度的环境水体进行一些必要的说明，后者则着重描述海流的三维空间位置、形态、大小等，然后是其空间特点的时间变化等。其中，描述海流的大小分为第一强度和第二强度，第一强度则主要是海流的流量，与海流的流幅宽度和海流流速关系密切，第二强度主要是指海流流速的最大值，与空间位置有关。通常情况下，流量更能反映海流的大小和强弱。

在研究中拉格朗日表达涉及到的参数指标非常多，但由于数据获取等方面的原因，目前对拉格朗日研究相对比较少。

对于轨迹、流辐、流轴、边界、涡、流核等海流指标，可以将其作为特征进行提取，然后用前面建立的基于特征的时空过程模型对其进行表达。如图 4－17 是某卫星漂流浮标运移轨迹，它可以看成是海洋中水质点的运移轨迹。这个水质点在海洋中是处于动态变化中，上一个时刻的空间位置与下一个时刻的空间位置可能会发生变化。在这种情况下，在表达时可以将其看成为一系列位置点的集合或者是一条线。利用建立的基于特征的时空过程模型，可以完成对这一系列点或线作为特征进行提取和表达。通过这种方式可以实现基于时空特征模型的海流拉格朗日方式组织与表达。



图 4－17　某漂流浮标运移轨迹

4.5　本章小结

本章在对海洋数据类型与特点进行分析后，探讨了海洋数据的组织表达问题。针对海洋数据的特殊性，对于数据的组织表达问题提出了基于特征的时空过程模型和基于场的时空格网模型两种模型。并以海流为例，探讨了时空数据模型在海流欧拉和拉格朗日表达中的应用。

参考文献

1 陈军,赵仁亮. 1999. GIS空间关系的基本问题与研究进展. 测绘学报,28(2):95－102

2 崔伟宏,张显峰. 2000. 时态地理信息系统研究. 见:中国科学院地理科学与资源研究所编. 涛声集. 北京:中国环境科学出版社

3 韩家新. 2003. 中国海洋环境监测系统—海洋站和志愿船观测系统的建设与运行. 海洋技术,22(1):49～57

4 苏奋振. 2003. 海洋地理信息系统研发:[博士后出站报告]. 中国科学院地理科学与资源研究所

5 仉天宇. 2002. 海洋GIS场模型研究:[博士论文]. 中国科学院地理科学与资源研究所

6 郑文振,陈宗镛. 1998. 我国沿海长期研潮(海平面监测)站的建立和建议. 海洋通报,17(1):13－19

7 Egenhofer M J, et al. 1999. Progress in computational methods for representing geographical concepts. I J GIS, 13(8):775－796

8 Langran G. 1992. Time in Geographic Information Systems, Taylor & Francis

9 Peuquet D J, N Duan. 1995. An event-based spatiotemporal data modal (ESTDM) for temporal analysis of geographical data, Int. J. Geographic Information Systems, 9(1):7－24

10 Samtaney R D, Silver N, Zabusky, J Cao. 1994. Visualizing Features and Tracking their evolution. IEEE Computer 27:20－27

11 Szego J. 1987. Human Cartography: Mapping theWorld of Man. Stockholm: Swedish Council for Building Research.

第5章　海洋GIS分析方法

5.1　海洋场基本几何量算

海洋研究往往是大尺度的，乃至全球尺度。而发展于陆地应用的GIS，其几何量算方法是基于较小尺度的。为此，在MGIS需要重新定义其几何量算算法，以适应海洋研究与管理的需要。这里主要讨论的几何量算有空间距离、面积、几何中心、形状等问题。

5.1.1　距离量算

距离的定义是与度量空间有关的，如果度量空间被看成是均质的，则最常用的是欧氏距离(n维空间)，即两点间的差值平方和的平方根形式。

$$d_{ij}=\left[\sum_{l=1}^{n}(x_{li}-x_{lj})^2\right]^{1/2}$$

另外，还有其他一些距离概念，用于评价对象之间的相似程度，或相似系数等，主要有明考斯基距离、绝对值距离、切比雪夫距离、马氏距离等，在涉及聚合聚类研究时经常采用，这些距离概念分别具有特殊意义，不是普通几何距离概念，这里就不过多涉及。

在等角格网化方案中经过投影变换的坐标系统是以经纬度为单位的坐标系统，这种坐标系统不能直接反映现实世界中的距离概念，因此需要经过距离量算进行转换。在所有的距离定义中，地球的球面距离是最为重要的，有时可能也会用到其他形式的距离定义，例如在同一条纬线上的两点之间在纬线上的距离等。

地球的大圆弧的长度，又称为球面距离(如图5-1)，是球面上两点之间的最短距离。这个距离用经纬度数值表示：对于任意点A，其经度为x_1，纬度为y_1，任意点B，其经度为x_2，纬度为y_2，AB代表两点间所对应的大圆的夹角，R是地球半径，角以弧度为单位，根据球面三角形的余弦定理有：

$$\cos(AB)=\cos\left(\frac{\pi}{2}-x_1\right)\cos\left(\frac{\pi}{2}-x_2\right)+\sin\left(\frac{\pi}{2}-x_1\right)\cos(y_1-y_2)$$

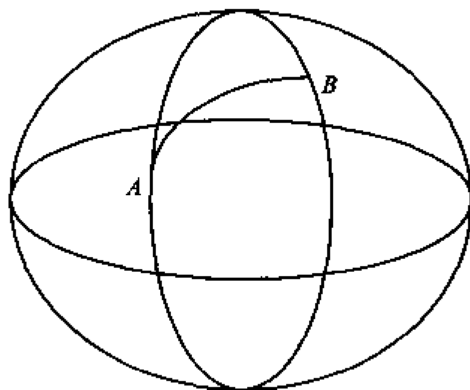


图5-1　地球表面上的大圆距离

则两者之间的球面距离d是：

$$d=\cos^{-1}(AB)\cdot R$$

假设字母设置相同，在同一条纬线上的两点之间的纬线距离d是：

$$d=\cos(y_1)\cdot R\cdot(|x_1-x_2|)$$

由于子午线是构成地球大圆的一部分，所以在同一条纬线上的两点之间的经线距离与两者之间的球面距离是相同的。

此外，还有点到线距离的定义和计算，点到面距离的定义和计算，线到面距离的定义和计算、面与面之间距离的定义和计算等，根据对象的速度，还可以计算它的时间距离。

值得注意的是，由于格网设置不同于普通的栅格系统，即现有的格网并不是规则的方格子，所以基于栅格的一般距离计算方法并不适用，例如“欧氏距离变换”法，不能简单地用其行列式进行运算，中间也需要进行适当的转换。这一点在梯度计算等往往容易忽视，当然在一较小的范围内也是可以忽视的。另外，当进行值的比较是在较小范围也可以忽略。

5.1.2 面积量算

在计算面状对象的面积时，可以直接通过栅格数据来获取，所以计算最小栅格的面积值是计算面积的基础。以等角格网为例，真实的球面面积，与等角网格中的面积差别很大。

考察格网每行中格网数目和格网面积的关系。假设将地球子午线分成 2 048 等份，则 $n_1, n_2, \cdots, n_i, \cdots, n_{1024}$，代表从两极数起每行中格网的数目，$\Delta S_1, \Delta S_2, \cdots, \Delta S_i, \Delta S_{1024}$ 分别代表每行中单个格网的面积，$S_1, S_2, \cdots, S_i, \cdots, S_{1024}$ 则代表每行中所有格网的总面积，有

$$\begin{cases} n_1\cdot\Delta S_1=S_1 \\ n_2\cdot\Delta S_2=S_2 \\ \cdots\cdots \\ n_{1024}\cdot\Delta S_{1024}=S_{1024} \end{cases}$$

如果 $n_1=n_2=\cdots=n_{1024}$，则意味着是等角的格网方案，如果 $\Delta S_1=\Delta S_2=\cdots=\Delta S_{1024}$ 则成为等面积的第二种方案，同时每一行中的数据也形成根据 S 的变换形成了一种余弦形式的变化。

同理，在等角格网情况下，假设点 A,B,C,D 构成一个四边形格网，如图 5－2，A 和 B 在同一条纬线上，C 和 D 在同一条纬线上，A 和 D 在同一条经线上，B 和 C 在同一条经线上。四个点的经纬度坐标分别是 $A(x_1,y_1)$，$B(x_2,y_1)$，$C(x_2,y_2)$，$D(x_1,y_2)$，则格网的球面面积的公式为

$$S=2\pi r^2|\sin y_1-\sin y_2|\cdot\frac{|x_2-x_1|}{360}$$

或者，以弧度表示为

$$S=r^2|\sin y_1-\sin y_2|\cdot|x_2-x_1|$$

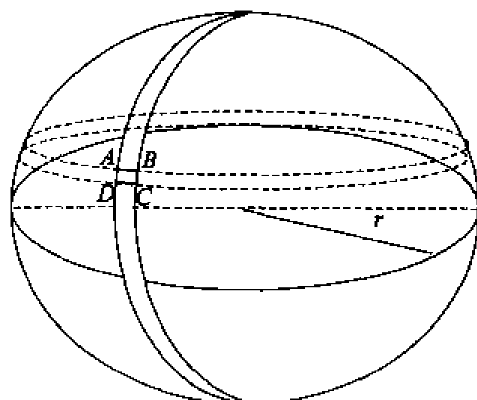


图 5－2　等角格网位置图

或者

$$S=2r^2|x_2-x_1|\cdot\left|\cos\frac{y_1-y_2}{2}\right|\cdot\left|\cos\frac{y_1+y_2}{2}\right|$$

如果令格网的角点经纬度之差为常数，则其面积变化与纬度的余弦成正比。所以，在上述的两种格网化方案中，实际上是考虑将哪一个参量进行余弦化的问题。如果将面积设置为呈余弦式变化，则如上所示。如果设置为等面积格网，则将$\left|\cos\frac{y_1+y_2}{2}\right|$视为一个参量加入到$\left|\frac{x_2-x_1}{360}\right|$项中，牺牲格网的均匀分割，而保持格网的面积不变，此时其面积表达式为

$$S=2r^2|x_2-x_1|\cdot\left|\cos\frac{y_1+y_2}{2}\right|$$

而格网的分割则表示为格网在纬度带的比率

$$K=\frac{|x_2-x_1|}{360}\cdot\left|\sec\left(\frac{y_1+y_2}{2}\right)\right|$$

5.1.3 几何中心平均

如果假定各个部分的质量相同，则在二维平面上，几何中心与二维的质量中心相同。更一般地，可以将质量视为加权，由于各个格网的加权值不同，使得计算的加权几何中心的位置变化很大。

$$X_G=\frac{\sum_i w_i x_i}{\sum_i w_i},Y_G=\frac{\sum_i w_i y_i}{\sum_i w_i}$$

其中，i 为离散对象，w_i 为该对象权重，x 和 y 分别是其坐标。

值得注意的是，在计算几何中心时，如果考虑到对象格网的变形，每一行中格网的边长和面积可能是不同的，因此应当将上述距离和面积量算的结果考虑在内。考虑到实际计算时主要以格网为基础，所以用面积量算的结果有时会比用距离更加简单。

5.1.4 空间方位和空间拓扑

方位是描述两个物体之间位置关系的另一种度量，常以角度表示。方位的计算一般是以正北方向为起算方向，并沿顺时针方向进行的。球面上的方位角定义方式与平面上略有不同。如图5-3，将球面上 B 点相对于 A 点的方位角定义为：过 A、B 两点的大圆平面与过 A 点的子午圈平面（亦为大圆平面）间的夹角，这是因为球面上的正北方向是由经线方向表示的。对于 B 点来说，其要素可以是任意的，既可以是海面上的对象，也可以是海面以下的对象。同理，球面上 A 点相对于 B 点的方位角 β 定义为过 A、B 两点的大圆平面与过 B 点的子午圈平面间的夹角。

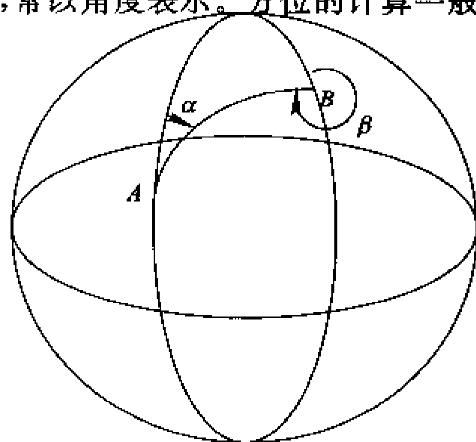


图 5-3 球面上的方位角

给定点 $A(x_1, y_1)$、$B(x_2, y_2)$在球面上的位置，根据有关公式，可以得到点 B 相对于点 A 的方位角 α 为：

$$\cot\alpha = \frac{\sin x_2 \cos x_1 - \cos x_2 \sin x_1 \cos(y_2 - y_1)}{\cos x_2 \sin(y_2 - y_1)}$$

同样，可得点 A 相对于点 B 的方位角 β 为：

$$\cot\beta = \frac{\sin x_1 \cos x_2 - \cos x_1 \sin x_2 \cos(y_1 - y_2)}{\cos x_1 \sin(y_1 - y_2)}$$

空间拓扑是不考虑度量和方向的空间物体之间的空间关系。

5.1.5 变形问题和形状变换

由于球面到平面所带来的格网变形在应用中是一个需要重视的问题。在上述的几何量算方法上，都有别于直接利用经纬度坐标进行计算的结果。在高纬度和对形状要求很高的问题中，这种投影方式所带来的弊端是非常明显的，它严重干扰了人们的视觉效果，凭借视图的方式是很难进行正确评估的。因此，在建立数据模型时，将主要用于数据存储的数据模型和主要用于数据显示和结果表达的模型分开设计。

σ 坐标变换是经常采用的一类三维变换，在大气动力学中也是一种常用的坐标系，在海洋动力学中常作如下变换：

$$\sigma = \frac{h+z}{h+\zeta}$$

其中，h 是水深，ζ 是海面起伏。这样，在海面处，$z=\zeta$ 时，$\sigma=1$；在海底处，$z=-h$，$\sigma=0$。因而在 σ 坐标下，海面和海底都是“水平”的；“水深”都是 1。这样有时会带来很多方便，例如海洋数值模型中就经常使用类似的变换，具有很多优越的地方。

5.2 海洋场基本栅格运算

海洋场是一个连续的能量场，由此海洋 GIS 的一个最为基本和重要的基础分析算法就是栅格运算。

5.2.1 栅格系统基本运算

(1)算术运算：+、-、*、/、取整、取反、取模、取余等。若输入值有 Null，输出为 Null。

例如：栅格 A=栅格 B+栅格 C；栅格 A=栅格 B-栅格 C；栅格 A=栅格 B*栅格 C；栅格 A=栅格 B/栅格 C；栅格 A=Integer(栅格 B)；栅格 A=-(栅格 B)；A=Mod(栅格 B,栅格 C)；栅格 A=Floor(栅格 B,栅格 C)。

(2)布尔运算：并 AND、或 OR、非 NOT、异或 XOR，若输入值有 Null，输出为 Null。

例如单元值是 3,0,null 与 3 并为 1,0,null；

单元值是 3,0,null 与 0 并为 0,0,null；

单元值是 3,0,null 与 3 或为 1,1,null；

单元值是 3,0,null 与 0 或为 0,0,null；

……

(3)关系运算：根据比较的结果返回 1(真)或 0(假)，若输入值有 Null，输出为 Null。

例如单元值 3 与 2 比较有：3>2，输出为 1；

3=2，输出为 0；

3<2，输出为 0；

3！=2，输出为 1。

(4)位运算。

(5)集合运算：CAND、COR、CXOR。

例如将两个栅格(分好类，其数字代表类别)进行集合运算，计算如下：

CAND

Value	COUNT	INGRID1	INGRID2
0	8	0 或非 0	0 和非 0
1	23	7	15
2	67	3	13
3	34	6	15
4	51	8	12
5	35	5	19

COR

Value	COUNT	INGRID1	INGRID2
0	8	0	0
1	23	7	15
2	67	0	13
3	34	6	0
4	51	8	12
5	35	5	19

CXOR

Value	COUNT	INGRID1	INGRID2
0	8	0	0
0	23	7	15
2	67	0	13
3	34	6	0
4	51	0	12
5	35	5	0

* 上面第一第二列在属性表中应该合并，之所以写成上面的形式是为了理解异或的操作。

(6)逻辑运算：DIFF、OVER、IN。

DIFF 用于比较两个栅格，若单元值不等，以第一个栅格的值为输出，若相同输出为 0，此操作用于改变搜寻。

OVER 将叠加两个栅格，若第一个栅格的值不为 0，返回其值，若为 0，返回第二个栅格的值。用于当第一个栅格数据搜集不完整，用第二个栅格进行替补。

IN 将栅格与一数值集合，如{4,5,6}或一栅格的列表比较，若栅格中单元值与列表中任一值对应，则返回其值，否则为 0。

(7)累积运算。

(8)赋值运算。

5.2.2 栅格系统函数

(1)局部函数：输出值只取决于输入栅格的同一位置单元值。

①三角、指数和对数函数等，如 SQRT()，SIN()等；

②重分类，即将栅格单元值按重分类表分类(赋值)；

③选择，按符合一定逻辑关系来选择单元，并对其进行处理；

④按一定空间范围来选择单元，并对其进行处理；

⑤统计，对输入的栅格对应的单元值统计(最大，最小，中数，平均数，方差，和，范围 range，不同值的个数)。

(2)焦点函数：其步骤如下。

①确定邻域范围和焦点位置；

②设定权重；

③统计计算(最大，最小，中数，平均数，方差，和，范围 range，不同值的个数)。

(3)区域函数：利用输入的区域确定目标栅格中位于该区域中的单元为统计对象。将统计结果输出在这些区域上。输出栅格的属性表也可以作为统计结果的一种表达。统计计算有最大，最小，中数，平均数，方差，和，范围 range，不同值的个数及区域面积周长。

(4)全局函数：统计全局单元，然后操作。

①统计：最大，最小，中数，平均数，方差，和，范围 range，不同值的个数；

②相同值的单元，划定为：同类(相连和不相连)，不同类(不相连)；

③按给定表重分类；

④按等面积划分；

⑤按等间距划分。

5.2.3 空间结构分析

1. 空间自相关(Geary，Moran)

Moran I 指数计算公式如下：

$$I=\frac{1}{\sum\sum w_{ij}}\cdot\frac{\sum\sum w_{ij}(D_i-D_m)(D_j-D_m)}{\sum(D_i-D_m)^2}$$

Geary c 指数计算公式如下：

$$c=\frac{\sum\sum w_{ij}(D_i-D_j)^2}{\frac{2}{n-1}\left(\sum\sum w_{ij}\right)\left(\sum(D_i-D_m)^2\right)}$$

上二式中，n 为样本点总数，i,j 为任意两个空间相临的样本点，D_i为 i 点上的值，D_m为平均值，点 i 与 j 是四邻域时 w_{ij} 为 1，否则为 0。

2. 空间变异

以区域变量(regionalized variable)理论为基础，研究分布的结构性和随机性。

设定 $D(x,y)$为随机场，其中(x,y)为空间上的点位坐标，对于每一个确定的(x,y)有一 $D(x,y)$与之对应，为了便于叙述，将场定义为 $D(X)$，X 代表空间点位(x,y)。定义变异函数为：

$$\gamma(X,h)=\frac{1}{2}E[D(X)-D(X+h)]^2$$

由于 $D(X)$具有自相关的特性，在一定的尺度内变异函数 $r(x,h)$仅依赖于 h 而与位置 x 无关，上式可写成：

$$\gamma(h)=\frac{1}{2}E[D(X)-D(X+h)]^2$$

对应于栅格数据有

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}[D(X_i)-D(X_i+h)]^2$$

其中，$\gamma(h)$表示变异函数，$D(X_i)$表示在位置 X_i处的密度，$D(X_i+h)$表示与 X_i距离为 h 处的密度，n 为所有距离为 h 的点对数。

以上计算的实验数据，可以用理论模型进行拟和。变异函数的理论模型通常有三类。一类是有基台值模型，包括球状模型、指数模型、高斯模型、线性有基台值模型和纯块金效应模型。另一类是无基台值模型，包括幂函数模型、线性无基台值模型、抛物线模型。最后一类是孔穴效应模型，属于线性非平稳模型。通过计算变异函数值并对其进行曲线拟合，可以得到随机场的空间分布特征参数。

3. 多尺度分析

多尺度分析(Multiscale Analysis)或多分辨率逼近(Multiresolution Approxmation)是研究海洋结构的重要手段，这里强调数学形态学和小波分析方法。

数学形态学基于集合论，易于实现并行算法，在图像的边缘特征提取方面，比其他空域或频域方法具有明显的优势。近年来，国际上开始尝试运用数学形态学来提取海面形态特征。但尚未有人对海面形态的尺度与结构元素大小的关系进行研究。事实上，结构元素的尺度和形状对海面形态的处理结果有着决定性的影响。从形态学梯度理论分析可知特定尺度的结构元素对应于特定空间尺度下的要素特征，即结构元素的尺度过大或者过小，对某一空间尺度要素提取都会达不到最佳的效果。因此有必要探索特征要素的空间尺度和结构元素尺寸的对应关系。具体研究参见第 13 章。

小波分析(Wavelet analysis)是传统傅立叶分析的发展，将空间域中复杂的卷积运算转换为频率域中简单代数乘积运算，其窗口随着频率增高而变窄，而且适当离散化后能构成正交系，有较好的(Localization)局部化特征。自从 Meyer 于 1985 年构造出第一个非 Haar 基的小波正交基以后，人们一直致力于运用各种技巧来构造一些特殊的

小波基并尝试进行多尺度分析(Multiscale Analysis)或多分辨率逼近(Multiresolution Approxmation)。我们也将小波分析方法应用在在温锋提取的研究上,详见第13章。

5.2.4 场相关分析

经常地,需要探究两个场或多个场的相互关系,比如海面温度场与风场的关系。这里主要介绍两类。多元回归分析和在空间制约关系下的相关分析。

1. 多元分析

即计算两个栅格场的相关系数。首先建立回归方程式:

$$D=f(C_1,C_2,C_3,\cdots),$$

其中,D为因变场,C_i为自变场,f为从C到D的函数关系。其求解方式,可参考数理统计类的资料。

2. 空间配制结构相关

将栅格的邻域转换为决策表(关系表),以关联规则提取算法来发掘规则,核心是基于频集理论的递推方法,具体可参见文献(苏奋振 2001),这里仅作简要介绍。对此,可分解为两个阶段:

(1)找到符合要求(支持度大于最小支持度)的属性集,这些属性集称为频繁集(Frequent Item set)。

(2)使用第一阶段找到的频繁集产生期望的规则。一般来说,如果$A_1A_2A_3A_4$和A_1A_2是频繁集,那么计算可信度$C=S(A_1A_2A_3A_4)/S(A_1A_2)$来确定规则$A_1A_2 \rightarrow A_3A_4$是否成立,当可信度大于所要求的最小可信度时,规则成立。

为了生成所有的频繁集,使用递推的方法,其核心思想如下:

```
频繁集 L1 = {large 1 - item sets}
for (k=2;Lk-1≠φ; k++)do begin
Ck=apriori - gen(Lk-1)//新的候选集,Lk-1的扩展
for all geo - eventes GE ∈D do begin
Ct=subset (Ck,t); //时空事件中包含的候选集
for all candidates c ∈Ct do
c. count ++
end
Lk={c∈Ck/c. count≥minsupp}
end
Answer=∪kLk
```

首先产生频繁1-项集L_1,然后是频繁2-项集,直到有某个K值L_k为空,这时算法停止。当K次循环时,先产生候选K-项集的集合C_k,C_k中的每一个属性集是属于L_{k-1}的频繁集的增加一个属性项的集合,C_k中的属性集是用来产生频繁的候选集,最后的频繁集L_k的C_k的一个子集。C_k中的元素需要在时空事件库中进行验证来决定其是否加入L_k,这里验证过程是算法性能的一个瓶颈。因为这要求多次扫描数据库,频集有

多少项就要扫描多少遍。

对于数值型属性，则需要先将连续的数值划分为不同的区段，如对于多值属性 A，其取值范围为[l，r]，可划分为属性区段[l_k，r_k]映射成序对（A，K），则上面算法相应调整如下。

第一步，对于多值属性 A，取值范围为[1，r]，确定多值属性的划分，在此应该说明一下，对多值属性的划分可以有多种，比如对海浪，可以按巨，大，中，小浪指标划定，有些没有标准则可以主观上按一种比较科学的方法划定。

第二步，将划分后的属性区段[l_k，r_k]或属性值映射成(A，K)，进而变为布尔属性。

第三步，从属性集中寻找所有支持度大于最小支持度的属性项，构成频繁集。在海洋要素关联规则提取中又经常只对最大支持度感兴趣，可采用冒泡法处理。

第四步，在频繁集中迭代地搜索出组合后的支持度满足需要的属性项，属性项组合加入频繁集，如果是相同属性的相邻区段，则进一步合并。

第五步，与布尔算法的第二步一样。

5.3 海洋场梯度与涡度计算

5.3.1 梯度算法(微分离散算法)

海洋的空间是连续的，空间的域函数一般也是连续的，即空间位置的极微小变化，其属性值也将发生极微小的变化，不会出现像数字要素模型中的悬崖那样的突变值。

在格网系统中，梯度算法是微分算子离散化的基础。假设二维平面如图 5-4，海洋要素值以 Z 表示，则计算梯度的方法与计算坡度的方法是类似的，只是在最后坡度具有现实的意义，而某些要素的梯度结果是不存在角度数值的。

a 108	b 110	c 112
d 104	e 105	f 106
g 100	h 101	i 103

图 5-4 格网梯度计算示意图

梯度算法是：

$$\tan(S)=[(\Delta Z/\Delta X)^2+(\Delta Z/\Delta Y)^2]^{1/2}$$

$$(\Delta Z/\Delta X)_e=\{[Z_c+(2\times Z_f)+Z_i]-[Z_a+(2\times Z_d)+Z_g]/4\times cellsize\}$$

$$(\Delta Z/\Delta Y)_e=\{[Z_a+(2\times Z_b)+Z_c]-[Z_g+(2\times Z_h)+Z_i]/4\times cellsize\}$$

cellsize 是标准格网的边长，计算坡度在二维空间内的方向算法是：

$$\tan(A)=(\Delta Z/\Delta Y)/(\Delta Z/\Delta X)$$

注意，其中 S 为坡度，以角度为单位，而 tan(S)整体上是代表梯度，一般是有量纲的物理量，并且具有物理意义。

扩展到更一般的情况，即沿纵轴方向上各个格网的横向边长不同，面积不同。根据距离和面积量算的结果，假设格网的纵向边长近似为 m，横向边长近似为 n，字母 S 表示各格网的面积，忽略方位角的细小误差，则近似地有：

$$(\Delta Z/\Delta X)_e=\frac{\{[Z_c\cdot S_c+(2\times Z_f\cdot S_f)+Z_i\cdot S_i]-[Z_a\cdot S_a+(2\times Z_d\cdot S_d)+Z_g\cdot S_g]\}}{n\times(S_c+S_f+S_i+S_a+S_d+S_g+S_b+S_h)}$$

$$(\Delta Z/\Delta Y)_e=\frac{\{[Z_x a S_a+(2\times Z_b\cdot S_b)+Z_c\cdot S_c]-[Z_g\cdot S_g+(2\times Z_h\cdot S_h)+Z_i\cdot S_i]\}}{m\times(S_a+S_b+S_c+S_g+S_h+S_i+S_d+S_f)}$$

即 ΔZ 的权重发生了变化，每个 ΔZ 的权就是它对应区域的面积值。如果考虑到方位角的问题，则仍需要相应地改变上式：在每一项后面乘上 $\mathrm{tg}\alpha$，α 是该点相对于中心点的方位角的绝对值。

以上计算有一些变种，具体算法可参考 MaXPlorer 的技术手册。比如：四邻域梯度计算、八邻域梯度计算、特定方向组合的梯度计算、时间序列梯度计算、概率梯度计算等。

5.3.2 涡度算法及场论的应用

在海洋科学研究中，涡度是一个特殊的概念。海洋学家们利用涡度场解释了西边界强化等现象，涡度作为一个海洋要素，它在海洋流体动力学中的地位非常重要。

如果不只把它作为一个重要的物理要素进行分析，转而讨论另外一层深刻的含义。流场作为海洋中的一种矢量场，它的表达方式与传统的标量场还有显著不同，而一般的地理信息系统理论和软件所处理的几乎全都是标量场，因此如何管理好作为矢量场的流场是个很重要的问题。涡度算法实际上可以作为矢量/标量场的一种转换方式，它是针对流场进行操作的，如果忽略它的方向（通常方向是垂直向上的），输出结果却是一个标量场，从而非常简单地完成了矢量场转换的概念。在矢量的存储概念上可谓独树一帜，非常值得借鉴。

为了强调其一般性和通用性，我们按照场论的数学定义来考虑这个问题。设 $u(P)$ $(P\in D)$ 是给定的数量场，则定义梯度为

$$\mathrm{grad}\ u=\left\{\frac{\partial u(x,y,z)}{\partial x},\frac{\partial u(x,y,z)}{\partial y},\frac{\partial u(x,y,z)}{\partial z}\right\}$$

或者

$$\mathrm{grad}\ u=\nabla u(x,y,z)$$

同理，矢量场的散度为

$$\mathrm{div}\ \vec{a}=\nabla\cdot\vec{a}(x,y,z)$$

旋度（涡度）为

$$\mathrm{rot}\ \vec{a}=\nabla\times\vec{a}(x,y,z)$$

以上述定义为基础就可以实现基本的场转换表达，在一些简单的问题中已经能够解决一些问题，下面则要考虑三种特殊的矢量场，它与其他矢量场和标量场之间的转化也是我们关心的重点。

在曲面单连通域中，$\vec{a}(x,y,z)$ 是有势场，$\vec{a}(x,y,z)$ 是无旋场，$\vec{a}(x,y,z)$ 是保守场的概念等价的，只是由于它们的定义方式不同，通过有关的积分定理可以得到上述证明（沈永欢等 1997）。有势场是非常常见的，例如重力场，引潮力场，科氏力场等。如果能够将带有旋转效应的有旋场分量剔除。则可以得到带有势的保守场，将原矢量场转化为简单的势场，如果再进行合适的坐标转换，则可以转换成更加简单的标量场，因为这是矢量的方向具有相同的特性，不再起关键作用，处理起来将更加简单。

对于不可压缩流体，可以考虑使用无源场，或者称管形场，它的条件为矢量场的散度

为零，即

$$\operatorname{div}\vec{a}(x,y,z)=0$$

在凸型空间内，它的等价条件为存在$\vec{b}(x,y,z)$，使得

$$\vec{a}(x,y,z)=\operatorname{rot}\vec{b}(x,y,z)$$

$\vec{b}(x,y,z)$称为$\vec{a}(x,y,z)$的矢量势，$\vec{a}(x,y,z)$就是$\vec{b}(x,y,z)$的旋度。上述定理可以简单地描述为旋度的散度为零。在海洋中，相当一部分问题符合上述假设，因此可以对数据进行先求旋度，在求散度的方法剔除该部分矢量。

既无源又无旋的场称为调和场。调和场满足简单的拉普拉斯方程 $\Delta\vec{b}(x,y,z)=0$

值得注意的是，上述处理问题的思路是以线性叠加的方式为基础的，因此需要密切注意这个假设能否成立，如果发生强非线性效应或者某些情况下的弱非线性效应，则不能进行线性分解，也不能再进行上述转换和表达。

在很多涉及涡度的海洋问题中，海洋的浅薄特性，通常只考虑二维涡度形式，并且方向是铅直方向，因此涡度场就可以表达一些海流场难以表达的问题，既容易理解其物理概念，又方便格网数据模型进行表达和分析。

5.3.3 海洋场梯度运算实例

1. 计算最大梯度

要素场在屏幕上，目视无法辨别特征线，很容易把提取线画到错误的位置。因此必须先计算图像的梯度，再将梯度拉伸到 0～255 的灰度图，突出数据之间值的差别。

2. 确定大概位置

利用知识和人的思维，从预处理的图中手工标定特征的大概位置。如图 5－5 是原 SST 图像，图 5－6 是经过梯度运算后的图像，圈内表示用户预判温锋线。在图 5－6 这种情况下用户很容易判断温锋所在的可能位置。图 5－7 是图 5－6 圈内部分放大图。



图 5－5　原 SST 图像



图 5－6　梯度运算后图

3. 算法实现

(1)用户在界面中用鼠标画一条温锋提取线。记录各点坐标(客户区屏幕坐标)存入数组 Array 中。如图 5－8 所示，$P_1(X_1,Y_1)$，$P_2(X_2,Y_2)$，…，$P_n(X_n,Y_n)$为用户用鼠标

点击产生的坐标。

(2)通过各点坐标和图像的显示比例把坐标转化为图像坐标。显示比例为显示总像素宽度和图像宽度之比。

(3)计算提取线经过的各个图像坐标，对原点数组进行扩展。这个功能核心部分算法由 API 函数 LineDDA()实现。扩展后的点坐标数组 Array 为：

图 5－7　放大的温锋提取线

$P_1(X_1,Y_1)$，$P_{11}(X_{11},Y_{11})$，$P_{12}(X_{12},Y_{12})$，…，$P_{1N}(X_{1i},Y_{1i})$

……

$P_n(X_n,Y_n)$，$P_{n1}(X_{n1},Y_{n1})$，$P_{n2}(X_{n2},Y_{n2})$，…，$P_{2N}(X_{nk},Y_{nk})$

建临时数组 TempArray，进行迭代运算，运算结果存入 TempArray 中，完成一次迭代后，如果 Array 和 TempArray 完全相同，那么结束迭代(也可以考虑指定迭代次数来控制迭代)。如果不相同，那么把 TempArray 的值赋给 Array，继续下一次迭代运算。

4. 迭代

遍历坐标数组 Array 中各个点，进行如下运算：

(1)计算当前点和前一点所连成的直线的斜率 K(第一个点不参与运算)。K 本来应该为用户画的时候的直线斜率，为简化计算改成当前点和前一点所连成的直线的斜率。

如图 5－8 所示，$P_1 \sim P_2$ 的斜率应该与 Pstart－Pend 的斜率相同，为 4/3，但在计算时斜率为 1；相应地 $P_3 \sim P_4$ 的斜率为无穷大。

(2)根据模板进行运算(模板定为 $M \times N$，比如 7×3，即宽度为 7，长度为 3，如图 5－9 所示)，把模板中心和当前运算点对准，经过当前点且斜率为 $-1/K$ 的直线为模板的横向中心线，得出模板范围内的所有点，求纵向的各梯度值的平均值，再找出横向平均值的最大值。把这个最大值所在位置存入 TempArray 中。

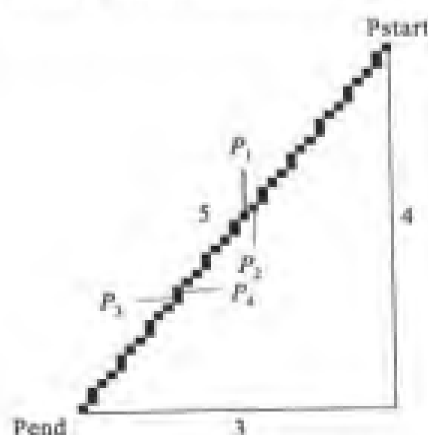


图 5－8　斜率计算示意图

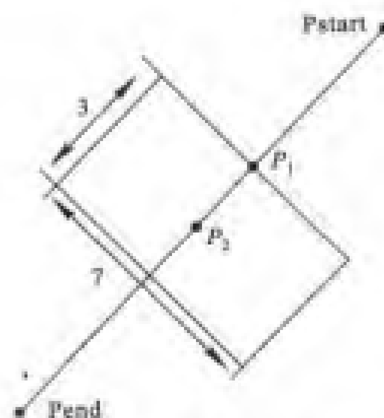


图 5－9　根据模板运算

按照这种 K 的求法和模板套取方法，套用模板时可能出现以下情况：

(1)当开始点 P_1 和结束点 P_2 的关系为横向和纵向时按图 5－10 取模板，共四种情

况。在这种情况下分别求标号相同位置的平均值(目的是消除噪声),然后对这7个平均值求梯度最大值,并将最大值位置的坐标存入数组中。

(2)当开始点 P_1 和结束点 P_2 的关系为斜时按图5-11模板,共四种情况。在这种情况下分别求标号相同位置的平均值(目的是消除噪声),然后对这7个平均值求梯度最大值,并将最大值位置的坐标存入数组中。

1	2	3	P_1	5	6	7
1	2	3	P_2	5	6	7
1	2	3		5	6	7

1	2	3		5	6	7
1	2	3	P_2	5	6	7
1	2	3	P_1	5	6	7

1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	P_2	P_1
5	5	5
6	6	6
7	7	7

1	1	1
2	2	2
3	3	3
P_1	P_2	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7

图5-10 横向模板与纵向模板

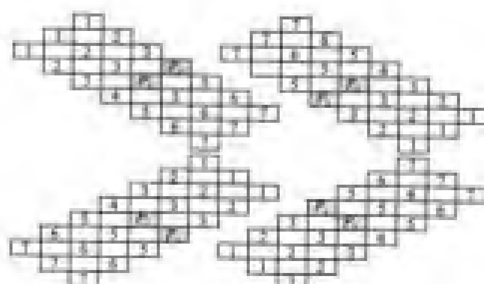


图5-11 斜向模板

另外,可选的是,如图5-12,同样计算标号相同位置的平均值,然后对这7个平均值求梯度最大值,并将最大值位置的坐标存入数组中。

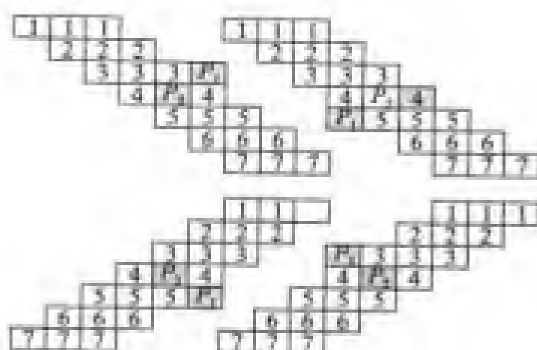


图5-12 简化的斜向模板

5. 迭代中的问题

1)点替换问题

迭代过程中,当计算一个点的新坐标后,位置发生偏移,如图计算原点的序列为 P_1、P_2、P_3,根据 P_1、P_2 算出来的新点坐标为 P_4,这时如果用 P_4 来替代 P_2,那么下一次计算 P_3 的新位置应该根据 P_4 和 P_3 来运算求得。这时就会出现一个问题,如果 P_3、P_4 不相邻,那么必须补全 P_4、P_3 之间的点才能继续运算,补了之后的点序列为 $P_1, P_4, P_a, P_b, \cdots, P_3$,这样补了点之后,要不要对 $P_a, P_a, P_b, \cdots$ 也做点的模板运算呢?

两种方案,第一种是不进行任何替换,如图5-13,P_4 是 P_1P_2 运算出来的新点,P_5 是 P_2P_3 运算出来的新点,如果 P_4P_5 两点之间出现不相邻的情况,那么在下一次迭代之前做一个点插值。

第二种方案是,用 P_4 代替 P_2,如果 P_4P_3 不相邻,那么进行点插值,但在本次迭代运算中对 P_4、P_3 之间插出的点不再进行模板运算,当要运算点 P_3 的新位置时,用插出来的 P_3 的前一点和 P_3 进行模板运算。

在这种方案中,P_1 点和 P_4 点也有可能出现不相邻,这时可以在迭代中进行点插值,也可以在迭代结束时做点插值。

2)有云时的情况

若温锋被云挡住了(如图5-14所示),所计算出的最大梯度位置就在云的边界上了(如图5-14)。在这时不用计算出这个边界点,这个位置点仍用内插点。也就是说,如果计算出的最大梯度点是在空值旁边就仍然用上一次的点。

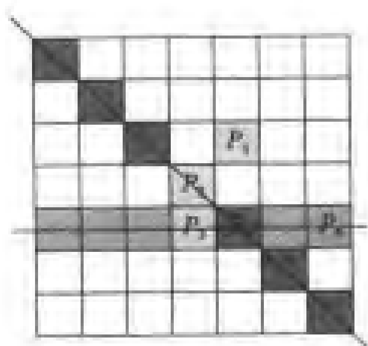


图 5－13　点替换问题示意图



图 5－14　温锋被云或噪声遮住

实现方法：搜索当前点的八个方向，如果在任一方向上，与当前点相邻的空值数超过三个，那么视为温锋线被云挡住，这时我们将不采用计算出来的新点，而是采用原来的位置点。

5.4　插值与拟合

这里的插值是指通过时空上已知点的值推求与其时空相关位置上数值的方法，是海洋地理信息系统中广泛应用的一种时空数据处理方法。由于一般空间插值的方法在许多地理信息系统或相关学科中均有较为详细的论述，而时间一维上的插值在许多时间序列分析的著作中有专门的阐述，故本节强调的是时空维上的插值方法。

5.4.1　插值方法

1. 最近邻法(Nearest Neighbor)

最近邻法的核心思想是：插值点的变量值与时空中距离它最近的测点的变量值相同。在具体的插值过程中，我们就是将距待估点时空最近的测点的变量值赋给待估点，作为待估点的变量值。

其数学表达式为：
$$v_0 = v_i$$
其中 v_0 表示待估点变量值，v_i 表示 i 点的变量值。

最近邻法插值的优点是不需其他前提条件，方法简单，效率高。缺点是对时空连续变化因素考虑太少，受样本点的影响较大，有时容易产生不光滑过程。

2. 算术平均值(Arithmetic Mean)

算术平均值方法假设变量值在给定的时空区域内从理论上讲是个常数，因而可以据此区域内所有测值的平均值来估计插值点的变量值。

其数学表达式为：
$$v_0 = \frac{1}{n}\sum_{i \in \Omega} v_i$$
其中，v_0 表示待估点变量值，v_i 表示 i 点的变量值。Ω 是给定的时空区域，n 是给定时空区域内点的数目。

显而易见，算术平均值的算法比较简单，容易实现。但只考虑算术平均，根本没有顾及其他的时空因素，这也是其一个致命的弱点，因而在实际应用中效果不理想。

3. 时空距离反比插值法

时空距离反比插值方法综合了泰森多边形的邻近点方法和趋势面分析的渐变方法的长处，它假设未知时空点 x_j 处属性值是在时空局部邻域内中所有数据点的距离加权平均值。时空距离反比插值方法是加权移动平均方法的一种。加权移动平均方法的计算公式如下：

$$\hat{z}(x_j)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\cdot z(x_i)\qquad \sum_{i=1}^{n}\lambda_i=1$$

式中，权重系数由函数 $\phi[d(x_j,x_i)]$计算，要求当 $d\to 0$ 时 $\phi(d)\to 1$，一般取倒数或负指数形式 d^{-r},e^{-d},e^{-d^2}。其中 $\phi[d(x_j,x_i)]$最常见的形式是距离倒数加权函数，形式如下：

$$\hat{z}(x_j)=\sum_{i=1}^{n}z(x_i)\cdot d_{ij}^{-r}\Big/\sum_{i=1}^{n}d_{ij}^{-r}$$

式中，x_j为时空中未知点，x_i为已知数据点。

加权移动平均公式最简单的形式称为线性插值，公式如下：

$$\hat{z}(x_j)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}z(x_i)$$

反比插值的一个最大优点就是它的简便易行，同时，它可以为变量值变化很大的数据集提供一个合理的插值结果，此外，也不会出现无意义的插值结果而无法解释。从另一方面来说，也存在几个不足。首先，这种方法对权重函数的选择十分敏感；其次，此插值方法受非均匀分布数据点的影响较大，当两个或多个样本点相邻时，对存在的冗余信息没有处理，而在孤立点附近的结果数据明显高于周围数据点的“鸭蛋”分布模式。这需要在插值过程中通过动态修改搜索准则进行一定程度的改进。另一方面，距离反比很少有预测的特点，全局最大和最小变量值都散布于数据之中。

4. 多项式插值(Polynomial)

多项式插值法或者使用代数多项式，或者使用三角多项式作为全局方程式来拟合研究区域。

多项式的一般数学表达式为： $v_e=\sum_{k=1}^{m}a_k\phi_k(x_e,y_e,t_e)$

其中 v_e为待估点(x_e,y_e,t_e)的变量值，a_k 为第 k 项的系数，ϕ_k 为依据坐标 x_e,y_e,t_e 的第 k 项，m 为在上式中由拟合次数所决定的多项式的总项数。

给出已知点的变量值和坐标数据，同时给出插值点的坐标，然后再给定多项式的表达式，我们就可以据此估计出所有插值点的变量值。上式的求解采用最小二乘法或拉格朗日方法。

5. 样条插值(Spline Surface)

最常用的一种非统计的插值方法是多项式插值，但是在测点之间存在不可控制的振荡。为了克服这一缺点，采用满足最优平滑原则的样条插值。样条插值的目标就是寻找一表面，使它满足最优平滑原则。

这种方法的优点是样条函数易操作，计算量不大，不需要对空间方差结构做预先估计；不需要做统计假设，而且表面平滑是不牺牲精度。缺点是难以对误差进行估计，点稀时效果不好。

6. 时空克里金法

根据区域性变量理论，假设任何变量的时空变化都可以表示为下述三个主要成分的和(如图5-15)：与恒定均值或趋势有关的结构性成分；与时空变化有关的随机变量；与时空无关的随机噪声项或剩余误差项。即复杂的时空变化分为三个部分：(i)时空平均特性；(ii)时空相关的不规则变化；(iii)随机的、局部的变化。另外，x 为一维、二维、三维或四维时空中的某一个位置，变量 z 在 x 处的值可由下式计算：

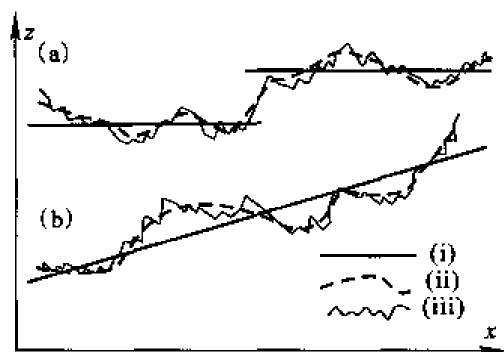


图 5-15 数据成分组成

$$z(x)=m(x)+\varepsilon'(x)+\varepsilon''$$

式中，$m(x)$是描述 $z(x)$的结构性成分的确定性函数；$\varepsilon'(x)$是与变化有关的随机变化项，即区域性变量；$\varepsilon''(x)$是剩余误差项，时空上具有零平均值、σ^2 与时空无关的高斯噪声项。

克里金方法的第一步是确定适当的 $m(x)$函数，最简单的情况是 $m(x)$等于采样区的平均值，距离矢量 h 分离的两点 x，$x+h$ 之间的数学期望等于 0：

$$E[z(x)-z(x+h)]=0$$

式中 $z(x)$，$z(x+h)$是随机变量 z 在 x，$x+h$ 处的值，同时还假设两点之间的方差只与距离 h 有关，于是存在半方差函数 $\gamma(h)$：

$$E\{[z(x)-z(x+h)]^2\}=E\{[(\varepsilon'(x)-\varepsilon'(x+h)]^2\}=2\gamma(h)$$

区域性变量理论的两个内在假设条件是差异的稳定性和可变性，一旦结构性成分确定后，剩余的差异变化属于同质变化，不同位置之间的差异仅是距离的函数。这样，区域性变量计算公式可以写成下式的形式：

$$z(x)=m(x)+\gamma(h)+\varepsilon''$$

半方差的估算公式如下：

$$\hat{\gamma}(h)=\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}[z(x_i)-z(x_i+h)]^2$$

式中，n 是距离为 h 的采样点对的数目(n 对点)，采样间隔 h 也叫延迟。对应于 h 的 $\hat{\gamma}(h)$的图被称为“半方差图”。图 5-16 表示一个典型的半方差图。

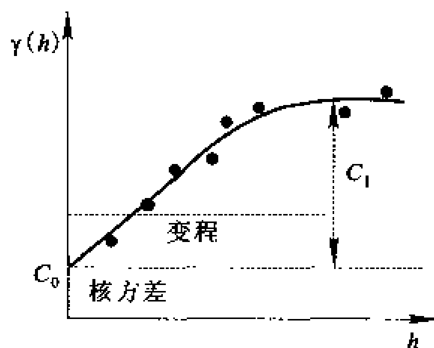


图 5-16 半方差图

半方差是定量描述区域性变化的第一步，它为时空插值、优化采样方案提供了有益的信息。为了求得半方差图，必须先得到拟合半方差的理论模型，在半方差理论模型中：

(1)延迟 h 的值较大的部分曲线呈水平方向。曲

线的水平部分成为“基台(Sill)”。说明在延迟的这个范围内数据点没有时空相关性，因为所有的方差不随距离增减而变化。

(2)曲线从 $\gamma(h)$ 的低值升到基台为止的延迟范围，称为“变程(Range)”。变程是半方差图最重要的部分，因为它描述了与时空有关的差异怎样随距离变化的。在变程范围内距离越近的点具有更相近的特征。变程给移动加权平均方法提供了一个确定窗口大小的方法。很显然，数据点和未知点之间的距离大于变程范围，表明该数据点与未知点距离太远，对插值没有作用。

(3)图 5 - 16 中拟合模型没有通过原点，而是在 $\gamma(h)$ 的正方向与坐标轴相截。

按半方差计算公式，当 $h=0$ 时，$\hat{\gamma}(h)$ 必须为零。模型中出现的正值 $\gamma(h)h\to 0$ 是剩余误差 ε'' 的估计值，它是与时空无关的噪声。ε'' 称为“块金(Nugget)”方差，是观测误差的和距离间隔很小的情况下的时空变化的组合。

当存在明显的变程和基台，同时块金方差也很重要但数值不太大的情况下，可用球面模型进行半方差拟合。公式是：

$$\gamma(h)=c_0+c_1\left[\frac{3h}{2a}-(h/a)^3/2\right] \qquad 0<h<a$$

$$\gamma(h)=c_0+c_1 \qquad h\geqslant a$$

$$\gamma(h)=0 \qquad h=0$$

式中，a 是变程，h 是延迟，c_0+c_1 为基台。一般情况下用球面模型拟合效果比较理想。

如果存在明显的块金方差和基台，而没有渐变的变程，则可用指数模型进行拟合：

$$\gamma(h)=c_0+c_1[1-\exp(-h/a)]$$

如果块金方差相对于与时空变化有关的随机变化 $\varepsilon''(x)$ 很小的情况下，最好使用比较弯曲的曲线进行拟合，如高斯曲线：

$$\gamma(h)=c_0+c_1[1-\exp(-h/a)^2]$$

如果时空变化随变程渐变，但没有基台，则可用线性模型进行拟合：

$$\gamma(h)=c_0+bh$$

式中，b 为线的斜率。当变程的大小远超过人们希望的插值范围时，也用线性模型。

下面是离散点数据经插值成 grid 后，显示的结果如图 5 - 17 所示。

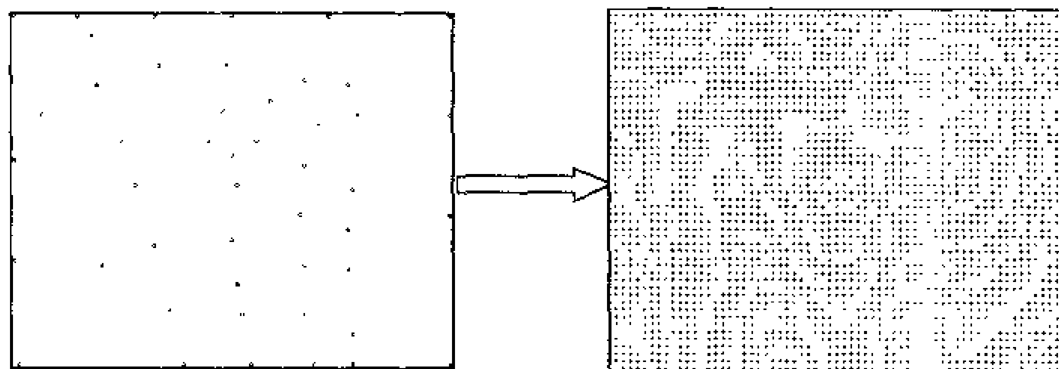


图 5 - 17　散点插值

克里金方法的最大优点是以空间统计学作为其坚实的理论基础，可以克服内插中误差难以分析的问题，能够对误差作出逐点的理论估计；它也不会产生回归分析的边界效应。缺点是复杂，计算量大，尤其是变异函数是几个标准变异函数模型的组合，计算量很大，而且变异函数需要根据经验人为选定。

7. 时间插值方法的探讨

以往的插值方法大都局限于空间上的插值，而忽略了时间因素的存在。空间插值方法是利用空间上已知值的点，通过一定的空间插值方法来求得未知值的点。而时间插值方法是利用待求空间点在不同时间的已知值来求该点在某一时间的未知值。

前面 6 种方法，均可简化为时间维上的插值，下面仅从时间维上变量的变化规律出发，探讨时间插值。

1)数据随着时间平稳变化

数据点值基本保持在一定的范围，变化幅度很小的情况下比较适合进行时间插值，可以利用其他时间测得的该点值来代替待求时段的该点的值。

最近时间距离法：最近邻法在时间轴中的投影。其数学表达式为：

$$v_e = v_t$$

其中，v_e 表示待估时间的变量值，v_t 表示时间上最临近时刻的变量值。

最近时间距离法插值的优点是不需其他前提条件，方法简单，效率高。缺点是对其他因素考虑太少，受样本点的影响较大，有时容易产生不光滑表面。

均值插值：算术平均值方法在时间维的约简。

假设变量值在给定的时间范围内从理论上讲是个常数，因而可以据此时间范围内所有值的平均值来估计插值点的变量值。其数学表达式为：

$$v_e = \frac{1}{n}\sum_{i\in\Omega} v_i$$

其中，v_e 表示待估点变量值，v_i 表示 i 点的变量值。Ω 是给定的时间范围，n 是给定时间范围内数据值的数目。

显而易见，均值插值算法比较简单，容易实现。但只考虑算术平均，没有顾及其他的因素，所以应用时有时出现较大的误差。

2)数据存在一定的周期性

很多数据存在一定的周期性，比如说海洋的海水温度，盐度等物理值基本都是以年为周期变化的。这样，海水的物理值在不同年份的同一时期非常接近。这种有周期性的数据可以利用不同周期上的同一点值来代替待求时段的该点的值。也可以用经验公式来求得。

替代法：类似于上面的最近时间距离法，区别是最近时间距离法是用时间上最近的点的物理值来代替该时刻物理值，而此方法是利用不同年份，相同时段的点的物理值来代替。其数学表达式为：

$$v_n = v_p$$

v_n为待估点物理值，v_p其他年份该时段该点的物理值。

该方法的优点是运用简单，不要运算；缺点是精度低，不考虑年际间的差别。

3)数据呈一定的规律性变化

很多数据都是按照一定的规律变化的，比如说上面提到的海水的温度值基本是以年为周期按照正弦函数曲线方式变化的。这种数据只要得到适当的拟合函数，然后利用已知数据求出函数的系数，代入时间，就可以求出该时间的该点数据值。

拟合函数插值：对于周期性变化的物理值可以用经验拟合函数来插值，不同的水域有不同的函数参数，所以确定插值函数的关键就是确定参数。

以水温插值为例，后面第 14 章中介绍了海洋北半球水温年际变化曲线基本呈正弦三角函数 $y=a+b\sin\left(x-\frac{34}{45}\pi\right)[0,2\pi]$规律变化。这就是一个海洋水温变化的拟合函数，对于不同海域所要做的工作就是确定经验参数 a 和 b。参数的获取方法可以有很多，其中参数 a 可以用全年大部分数据（缺值部分除外的其他数据）的平均值来取得，b 可以用最大，最小值来获得，具体公式如下：

$$a=\frac{\sum_{i=1}^{n}v_i}{n} \qquad b=\frac{\max(v_i)-\min(v_i)}{2}$$

拟合函数插值的优点是运用方便，唯一的工作就是确定参数；缺点是精度不高，没有考虑其他因素的影响。

5.4.2 时空过程插值实例——以点过程插值为例

本书中，将点过程定义为某点或某区域总体的时间序列物理值。它的实现前提是假定时间序列数据中每个数据都可以获取有效的物理值。但是实际情况是很难满足这种要求的，以遥感数据为例，在显示过程中很难避免某些时段的数据由于天气等外界因素的影响而发生缺值现象。如果直接用获得的数值进行可视化，必然影响效果。在这种情况下，运用插值的方法就可以弥补因为缺值面带来的缺陷，从而获得比较满意的效果。这一部分应用渤海区域点过程显示为例。

1. 点过程中插值的步骤

点过程的时空联合插值的方法很多，实际应用中可根据不同情况适当改变参数。具体实现步骤大体可以如下：

(1)记录鼠标选取的像元行列号(i,j)；

(2)读取(i,j)点周围一个缓冲区内的所有有值点的物理值，如缓冲区范围可以为$(i-15,j-15)\sim(i+15,j+15)$；

(3)对有值点进行物理值累加，和为 V，同时设一个变量 n，每累加一次，n 加 1；

(4)求平均值作为该待估点的物理值 $V_1=V/n$；

(5)因为插值是按照时间顺序进行的，所以前面的数据不存在缺值现象，读取该点相邻前两个时段的物理值 v_1，v_2（如果是第一点缺值则用拟合函数获取），那么 $V_2=2\times v_2-v_1$，这个值是粗略获取的，也可以根据不同的情况选用适当的算法来进行时间插值；

(6)对空间插值和时间插值获取的值根据其重要性和精确度进行加权计算所估点的值，比如 $V=0.8\times V_1+0.2\times V_2$。

2. 插值前后比较

图 5－18 中可见第 17、18、19、25 个时间单位上处于缺值状态，而且受个别数据的影响，曲线不够平滑，比如第 26～30 个数据可视化后呈锯齿分布，第 43 个数据与相邻数据明显不一致，这些现象使得可视化效果不够理想，甚至不能得到所需的信息。图 5－19 为进行时空插值后获取的同一点的时空过程曲线图，可见，缺值部分已经由插值来弥补，而且曲线拟合的很好。另外，曲线也变得平滑，不存在明显的锯齿分布。

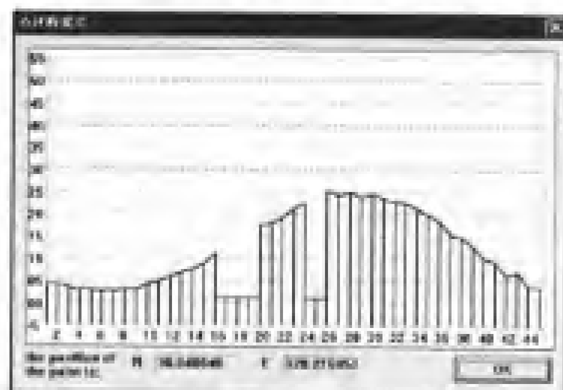


图 5－18　插值前点过程图

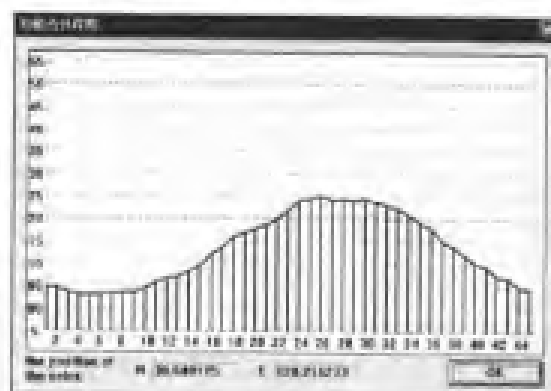


图 5－19　插值前后比较图

可见，使用时空插值方法进行插值，不但能够弥补缺值带来的影响，而且可以使过程曲线中所读数值更加接近该点域的真实值，而排除由于小范围的洋流或者天气等原因带来的影响。

3. 小结

插值方法是时空过程处理和分析的关键技术，它可以确保获得较好或较全面的过程，本文仅仅以点过程插值为例进行了插值方法的介绍。实际应用中对于线过程、面过程和体过程都可以运用插值方法来弥补因为缺值而带来的缺陷。目前的插值方法主要来源于空间插值，但是对于一些在时间序列上呈规律性变化的时间序列数据，使用时间插值甚至可以取得更好的效果。时空插值方法不但考虑了空间因素的影响，也考虑了数据在时间上的相互关系，二者的因素共同考虑，然后进行加权计算所得到的结果可以说更加接近真实值。虽然时空插值的研究刚刚起步，但是作为插值方法的一类，它将会越来越受到人们的关注。

5.5　等值线的生成和追踪

5.5.1　利用网格生成等值线

等值线生成的原理：根据等值线要素值与两个网格点的要素值的关系，检查等值线是否通过当前网格的四条边。判断当前等值线要素值是否在网格点 a 和 b 的要素值之间，如果成立，说明这两个网格点间通过等值线，否则没有等值线通过。等值线通过网格

点有三种情况：①贯穿网格：有两个坐标点；②贯穿相邻两边：有3个坐标点；③两条等值线穿过网格：有4个坐标点；根据这三种情况再分别进行处理。

通过这种方法生成的等值线都是由两个点组成的一条单一直线。为此还要进行等值线的追踪，即把属于同一要素值的各线连接起来。该算法的思路是这样的：

先把属于同一要素值的各线的数据加入到一动态数组中去，然后把该数组的第一个数据（该数据是一条线，由两个点组成）取出来（数据一经从数组中取出，就在数组中把该数据删除），分别沿其两头进行搜索，假如动态数组中有数据（指的是它的两个点的坐标）和其中一头的那个点的坐标相同，则把该数据取出来，并把该数据的另外一个点作为新的一头。继续进行搜索。直到动态数组里面找不到数据与两头上的点的坐标相同为止，这样一条等值线搜索完毕。如果动态数组中还有数据则继续搜索第二条等值线，如果没有数据，则搜索其他要素值的等值线。其结果见图5-20。

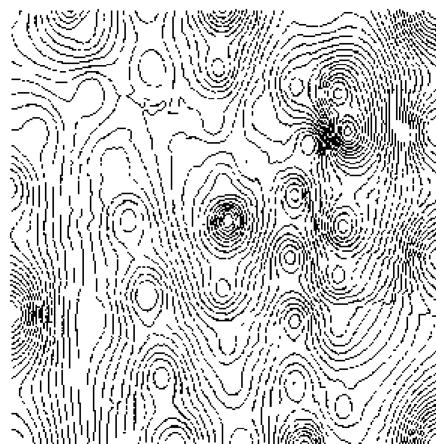


图5-20　追踪后的等值线图

5.5.2　利用不规则三角网生成等值线

1. 不规则三角网的定义

Delaunay三角网是V-图（也称为Thiessen图，Dirichlet图，Vigner-Seithz图）伴生图形。对它的研究是从对V-图的研究开始的。V-图定义是：假设$V=\{v_1,v_2,\cdots,v_n\}$，$n\geqslant 3$是欧几里得平面上的一个点集，并且这些点不共线，四点不共圆。用$d(v_i,v_j)$表示点v_i，v_j间的欧几里得距离。设x为平面上的点，则区域$V(i)=\{x\in E_2 \mid d(x,v_i)\leqslant d(x,v_j),j=1,2,\cdots,n,j!=i\}$称为Voronoi多边形（V-多边形）。各点的V-多边形共同组成V图。

平面上的V-图可以看作是点集V中的每个点作为生长核，以相同的速率向外扩张，直至彼此相遇为止而在平面上形成的图形。除最外层的点形成开放区域外，其余每个点都形成一个凸多边形。

Delaunay三角网的定义是：有公共边的V-多边形称为相邻的V-多边形。连接所有相邻的V-多边形的生长中心所形成的三角网称为Delaunay三角网。如图5-21，Delaunay三角网的外边界是一个凸多边形，它由连接V-图的凸集组成，通常称为凸壳。

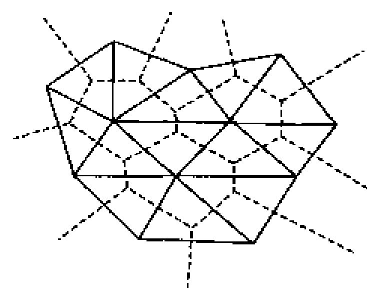


图5-21　Delaunay三角剖分（实线）和V图（虚线）

2. Delaunay三角网两个重要性质

（1）空外接圆性质：在由点集V所组成的Delaunay三角网中，其每个三角形的外接圆都不包括点集V中的其他任意点。

(2)最大的最小角性质：在由点集 V 所形成的三角网中，Dealunay 三角网中的最小角度是最大的。

由于这两个性质，决定了 Delaunay 三角网具有极大的应用价值。同时，它是二维平面三角网中唯一的、最好的。Sibson 证明了“在一个有限点集中，只存在一个局部等角的三角网，这就是 Delaunay 三角网”；Lingas 进一步论证了“在一般情况下，Delaunay 三角网是最优的”。

3. Delaunay 三角网生成算法

逐点插入法：逐点插入法的基本思想是在包含所有数据点的一个多边形中建立初始的三角网，然后将余下的点逐步插入并确保其为 Delaunay 三角网。该算法的主要步骤如下：

(1)设置一个包含点集中所有点的初始多边形并建立初始的三角网。

(2)插入一个新点到现有的三角网中。

(3)优化三角网。

(4)重复 2 和 3 直至所有点都被插入。

逐点插入法生成 Delaunay 三角网的两个主要步骤是点的插入及三角网的优化，以下详细介绍这两个过程：

点的插入，采用的是三角形插入法：该方法的思路是找出插入点所在的三角形，根据点与三角形的不同关系插入该点。具体如图 5－22 所示。

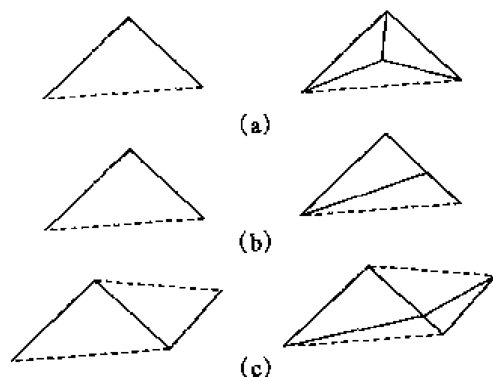


图 5－22　点位于不同情况的点的插入

(a)当点处于三角形内；

(b)当点处于三角形一边并且该边为边界；

(c)当点处于三角形一边且不在边界

在该方法实施过程中，要判断一个点处于哪个三角形内部，这一过程实现的效率会直接影响到整个算法的效率。对于判断一个点是否在三角形内的算法比较简单，方法实现：设三角形 ABC 顶点为点 A、点 B、点 C，它们逆时针排列，要判断点 P 与三角形 ABC 关系。只需要判断点 P 是否在向量 AB，BC，CA 的左边，如点 P 都在 AB、BC、CA 左边，则点 P 在三角形内部；否则点 P 在三角形外部。

要查找点所在的三角形，最简单的方法是把三角网中的三角形从头到尾都判断一下该点是否在三角形内部，这样虽然能够实现，但显然效率很低，特别随着三角形数目的增加，花费在查找三角形的时间会呈指数增加，这显然是不能接受的，要解决这个问题可以通过对三角形单元进行索引。实现空间索引后，查找点所在三角形只需先找到该点所在的索引单元，然后判断索引单元内的三角形是否为满足条件的三角形即可。

4. 三角网的优化

通过以上点的插入形成的三角网还不是 Delaunay 三角网，要得到 Delaunay 三角网，必须进行优化。目前实现三角网优化的流行方法为交换对角线方法，它是由 Lawson 提出的，又称为局部优化过程 LOP(Local Optimization Procedure)，是生成 Delaunay 三角

网算法的关键过程。理论上说，不论用何种方法生成的三角网，只要用 LOP 过程进行处理，就能把它变为 Delaunay 三角网。这样一个重要过程其实非常简单，它就是运用 Delaunay 三角网的性质对两个有公共边的三角形组成的四边形进行判断。如果其中一个三角形的外接圆包含第四个顶点，则这个四边形对角线交换。如图 5－23 所示。

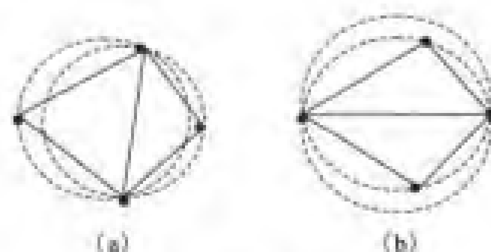


图 5－23　三角网的优化

(a)优化后三角；(b)优化前三角形

图 5－24 和图 5－25 是通过逐点插入法生成的不规则三角网图及由其生成的等解图。由 TIN 生成的等值线图的基本思路是：首先判断要素值(Z_c)的等值线是否与当前搜索的三角网有交点。判断的原理是：假设 i、j 是三角网一条边上的两个顶点，Z_i，Z_j 分别是其要素值，公式：$f=(Z_i-Z_c)/(Z_j-Z_c)$；不失一般性，假定节点 i 和 j 的要素值不等，则当 $f<0$ 是等值线与边 ij 有唯一交点；当 $f>0$ 是两者不相交；而当 $f=0$ 时等值线过节点 i 或 j。$f=0$ 的情形极易引起等值线跟踪的困难，为此可作一特殊处理。可将该节点的要素值作一微小的改动后再用条件式进行判断，在要素值 Z_c 的所有等值线生成以后，再恢复节点原来的高度值。可以证明：对于三角形来说，等值线与某个三角形的所有边的交点数或者为零，或者为两个，即等值线在三角形单元内至多通过一次。经过上面这么一判断如果某一要素值的等值线与当前三角形有交点，则通过下面的公式可以确定等值线与三角网的边的交点的坐标值：

$$X_c=X_i+(Z_c-Z_i)\times(X_j-X_i)/(Z_j-Z_i)$$
$$Y_c=Y_i+(Z_c-Z_i)\times(Y_j-Y_i)/(Z_j-Z_i)$$

式中，(X_c，Y_c)即为等值线和边 ij 的交点坐标，Z_c 为对应的高度值；(X_i，Y_i)和(X_j，Y_j)分别为节点 i、j 的坐标值，Z_i 和 Z_j 为对应的高度值。

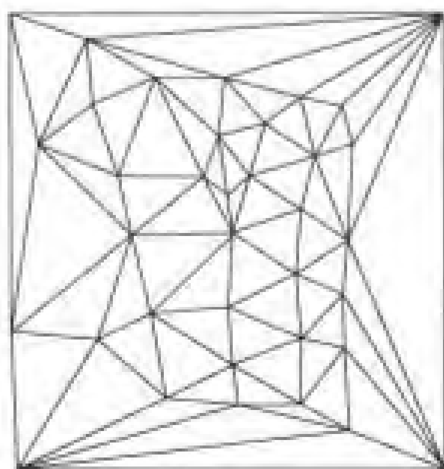


图 5－24　等值线构建

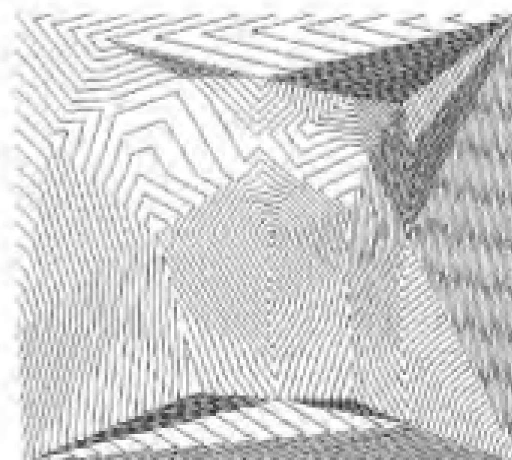


图 5－25　由 TIN 形成的等值线图

5.5.3　海洋虚拟测线法

海洋测量无论是大面或断面上的观测数据都相对比较零散，利用前面常用的插值方法，经常会产生莲藕状的等值线。为解决此问题，本书形成虚拟测线法。下面以断面的

等值线绘制为例说明。

海洋要素断面分布图是将观测到的某一个面上(平面或断面)的要素值,填在相应的空间坐标系中,然后以内插法绘制等值线。

在每一个船测点上,根据海洋要素的分布特征,先纵向内插,内插间隔可根据具体情况而定,可取每 1 m 或每 5 m 内插间隔。内插的方法是有限定条件的距离反比内插。

由于船测点之间的距离比较远,若这样直接生成等值线,结果可能会偏离实际的分布(尤其是在等值线平滑时),因此在水平方向,在每两个船测点间都插入一定数目的虚拟测点,并用上面的方法进行纵向内插。生成等值线,其过程如图 5-26。

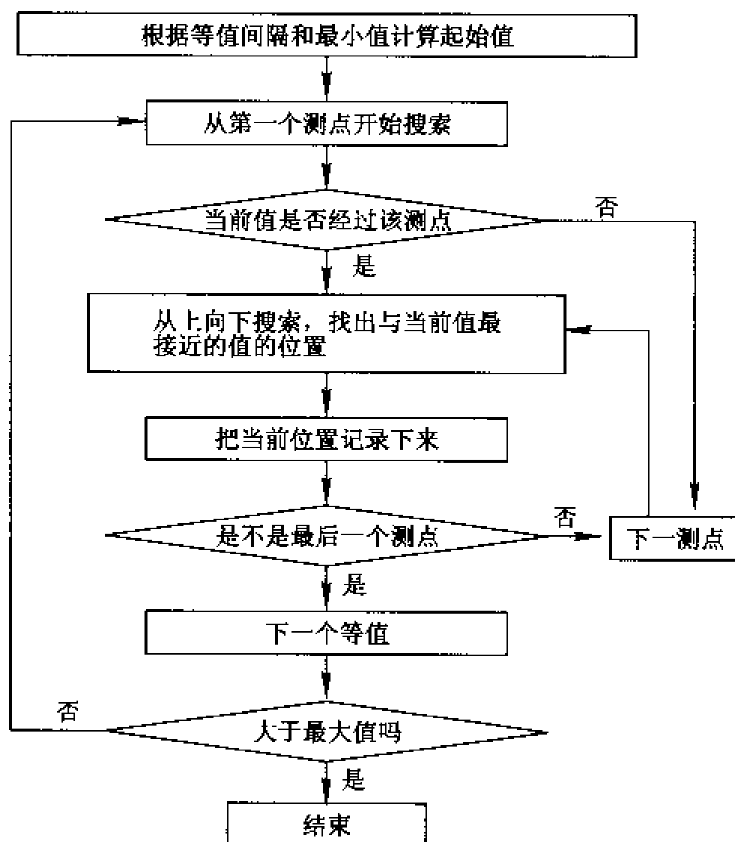


图 5-26　等值线生成示意图

每一个等值线所经过的点其实就是该值在该测点的深度,作为等值点的 Y 坐标,再把该测点的相应位置作为 X 坐标,就构成了一个实际的空间点,并保存在自己的一个数组中,最终把这些点连成线,就构成了一条等值线。

等值线的平滑处理。等值线生成之后,由于各个点间距比较大,等值线看上比较粗糙,必需经过平滑处理之后,才能形成比较平滑的曲线。经过测试和检验,本书最终选择阿基马(Akima)插值法。该方法光滑性较好,且误差也比较小。该算法的实现思想是:

对于函数 $T=f(h)$ 的 $n+1$ 个有序型值中任意两点 (h_i, T_i) 和 (h_{i+1}, T_{i+1}) 满足:

(1) $f(h_i)=T_i \dfrac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}h}\Big|_{h=h_{i+1}}$

(2) $f'(h_i+1)=T_i+1\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}h}\Big|_{h=h_{i+1}}$

式中 t_i, t_{i-1} 为曲线 $f(h)$ 在这两点的斜率，而每点的斜率则和周围四个点有关。阿基马以下列多项式：

$$T=P_0+P_1(h-h_i)+P_2(h-h_i)^2+P_3(h-h_i)^3$$

来对 (h_i, T_i) 和 (h_{i+1}, T_{i+1}) 间的一点 (h, T) 进行内插求值。式中：

$$P_0=T_i$$

$$P_1=t_i$$

$$P_2=[3(T_{i+1}-T_i)/(h_{i+1}-h_i)-2t_i-t_{i+1}]/(h_{i+1}-h_i)$$

$$P_3=[(t_i+t_{i+1}-2(T_{i+1}-T_i))/(h_{i+1}-h_i)]/(h_{i+1}-h_i)^2$$

在给定的坐标系统，根所前面所得的结果，绘制出等值线，另外在我们研发的 MaXplorer 中还加入等值线的一些修饰功能。

5.6 数据融合与配准

5.6.1 数据融合的定义与定位

1. 定义

数据融合(Data Fusion)最早产生于 20 世纪 70 年代初期，称为多源相关、多传感器混合和数据复合等。20 世纪 80 年代中后期，应用范围扩展到计算机视觉、机器人智能、遥感分析、资源管理、地学分析等领域，成为处理海量数据的关键技术之一。

数据融合被定义为针对应用目标，对多源信息进行多层次、多方面的信息处理，以提高数据或信息的质量。数据融合的应用目标是方向，数据处理方法是手段，信息质量提高是结果。需要强调的是，数据融合在广义上等同于信息融合。

融合消除多源数据间的冗余性，获得比单一数据更加准确可靠的信息；通过多源信息互补性，获得比单一信息更丰富的环境信息；融合可弥补单一数据集在某个时间段或空间域上的缺失，扩展数据的时间和空间的覆盖范围，使数据更趋完整。

2. 定位与意义

根据融合技术在信息处理中所在的不同层次，数据融合大致可分为四个层次：信号层融合，多在传感器对信源信号进行采样、量化时进行，形成输出数据；数据层融合，对获得的数据进行联合、相关分析，得到新的数据，新的数据具有原有数据的优势特征或者互补信息；特征层融合，针对具体应用问题面言，从不同的数据集中提取不同的特征，共同组成特征向量，进行目标辨识等决策判断；决策层融合，针对具体应用问题面言，从不同数据集得出的决策结果基础上进行某种形式的判断，以得到最终的较为精确的判定。

在实际的数据融合过程中，上述的分界并不是绝对的，如在海洋 GIS 系统中，多通道影像(数据)和海洋现象的某种属性信息(特征)常常一起参与数据融合。从某种意义上

讲，数据融合的模式由源数据集和应用问题共同决定，在融合过程中跨越信息处理的多个层次常常是必须的。

一般数据层的融合，即“对获得的数据进行联合、相关分析，得到新的数据，新的数据具有原有数据的优势特征或者互补信息”，关键点是得到新的数据层，在海洋 GIS 中可以从原始调查观测数据集得到新的数据层，以便于格网化，从而有利于进行各种基于格网的操作。

海洋观测数据具有多传感器、多源信息的特点，它在某些方面提出程度较高的研究目标状态估计和综合分析决策估计，而数据融合研究可以完成数据处理过程，形成崭新的信息层。即使是只进行基于时间/空间格网的数据融合，将海量的海洋观测数据整合到各种空间格网体系上，也具有很大的意义，为实现海洋数据的综合利用提供了重要的基础数据支持。具体的融合方法很多，如彩色空间变换法、主成分分析法、高通滤波法、Brovey 融合法、统计 Bayes 方法、神经网络方法、Dempster-Shafer 等。

5.6.2 数据融合相关问题

1. *数据转换*

由于不同传感器或观测方式输出的数据形式、对环境的描述和说明等都不一样，为了综合处理这些不同来源的信息，首先必须把这些数据转换成相同的形式、相同的描述和说明，才能进行相关处理。数据转换的难度在于，不仅要转换不同层次之间的信息，而且还要转换对环境或目标的描述或说明的不同之处和相似之处，目标和环境的先验知识也难以提取。其他的问题还包括多谱段、多尺度的数据转换，坐标变换，时间域的校准等。

2. *格网配准*

对经过数据转换后的数据重新进行空间定位，定位的目的是将各种数据都综合到某个特定的格网中去。格网体系中存在很多不同大小的格网，需要处理数据在每个格网中的归属问题，数据在格网中的权重问题，数据在格网中的特殊含义，特别是研究最优、次优算法，不同类型信息融合的符号处理方法等。

此外，与格网配准相关的多源数据还需要克服传感器测量的不精确性和干扰等引起的相关二义性，即保持数据的一致性；如何控制和降低相关计算的复杂性，开发相关处理、系统模拟的算法和模型。

3. *态势数据库*

态势数据库可以分为实时数据库和非实时数据库。态势数据库所要解决的难题是容量要大，搜索要快，开放互联性好，并具有良好的用户接口，因此要开发有效的数据模型、新的有效查找和搜索机制以及分布式数据管理系统等。

4. *融合推理*

融合推理是广义融合系统的核心。它所要解决的关键问题是如何针对复杂的海洋环境和目标时变特性，在难以获得先验知识的前提下，建立具有良好稳健性和自适应能力的目标-环境模型，以及如何有效地控制和降低递推估计的计算复杂性。此外还要解决与融合推理的服务对象——指挥控制的接口问题。

5. 数据损失

融合处理过程中的信息损失问题。例如目标估计和相关中一旦出错，将损失定位跟踪信息，目标识别及态势评定等也将出错；若各种数据中没有公共的性质，则将难以融合。

5.7 海洋时空过程可视化

5.7.1 时空数据的可视化方法分类

海洋 GIS 支持不同维对象的可视化，如零维的点、一维的线、二维的面、三维的体，并由此实现点过程、线过程、面过程、体过程的可视化分析。所谓过程可视化就是将点、线、面、体状对象及其属性表现在时间维上。

1. 点过程方法

点过程可视化方法所针对的是空间点对象，所说的点可以是一个不占任何空间范围的空间位置，也可以是对具有一定体积的空间范围的抽象。此方法所表现的是空间点的物理值在时间维上的变化过程。如果用横坐标表示时间，纵坐标表示物理值，表现出来的是一条连续的曲线。

为了方便海洋研究，海洋工作者在海洋中布置许多测站。这些测站实时地获得海洋数据并记录，每一个测站不同深度所获得的时间系列数据可以称之为一个点过程。比如海水温度的季节性变化用点过程方法表示，在水温季节性变化明显的海域一般可以得到近似正弦函数曲线的图形。如图 5－27 所示。

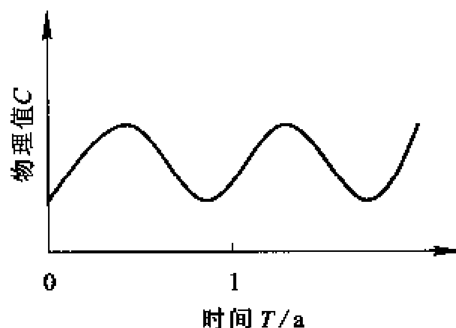


图 5－27 点过程简图

2. 线过程方法

线过程方法是以线状目标为研究对象的，线状目标可以是直线也可以是曲线，可以是不同深度和不同方向的线，比较常用的是水平线和铅垂线。所表现的是一条线上各点的物理值随着时间的变化而变化的过程。线过程的可视化分两种，一种是空间的线放在空间坐标中，用颜色表示线上各点的要素值。另一种，则将线放在人为直角坐标系中。后一种线状目标的可视化可以用静态和动态两种方法来表示。

静态方法：用横坐标表示时间，纵坐标表示线段的长度，不同的颜色以及色彩的饱和度来表示物理值的大小。把不同时刻对应的该线上的物理值相应的表示在坐标上，可以得到诸如洋流、温锋的季节性变迁规律、洋流运动周期以及发现各种异常现象等等。具体参见第 14 章。

动态方法：用横坐标表示线段长度，纵坐标表示物理值大小，把线段上每一点的物理值大小相应的表示在坐标平面上，每一时刻在坐标上都有一条表现物理值大小的曲线，

这样可以设定一个时间间隔，连续的播放每一时刻对应的表示物理值的曲线，所表现出来的是曲线的动态变化过程。

3. 面过程方法

面过程方法以面状目标为研究对象，面状目标可以是水平面，可以是斜面，也可以是竖直的剖面。如果用不同的颜色相应表示面上各点的物理值，或者根据面上各点的物理值绘制等值线，那么每一时刻该面上都有一个状态与之对应，将这些按时间序列由地理属性数据生成的图像（中间缺少的帧可以由内插的方法进行补齐）通过应用程序生成过程文件。这样便可以动态的表现面状目标上物理值随着时间的变化过程，也可以动态的表现平面上等值线随时间的变化过程。面过程的显示非常直观，人们可以很容易的通过面过程的显示重现该面上的物理值变化过程，并从中可以发现一些规律。

4. 体过程方法

这是一种三维时空过程重现的可视化方法。首先，选定一个空间范围作为研究对象，在此空间范围内选取足够多的能够反映整个范围的特征点群，每个点根据其物理值大小的不同用不同的颜色来表示。这样，每一时刻该空间范围都有一个状态与之对应。将这些按时间序列由地理属性数据生成的三维图像（中间缺少的帧可以由插值的方法进行补齐）通过应用程序或者三维动画工具处理后产生动画。另外，这种方法也可以用来反映一个几何体中的统计信息。比如说，用一个立方体表示一个规则的空间范围，用带有一定梯度的颜色来表示该空间范围中某种物理值的含量，随着时间的变化立方体的颜色发生变化，人们可以通过这种方法直观的感受到物理值含量的变化。

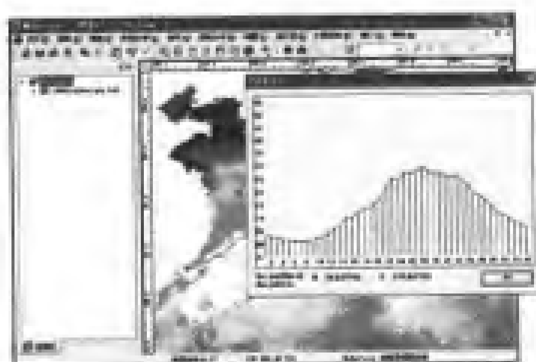
5.7.2 MaXplorer 中过程可视化

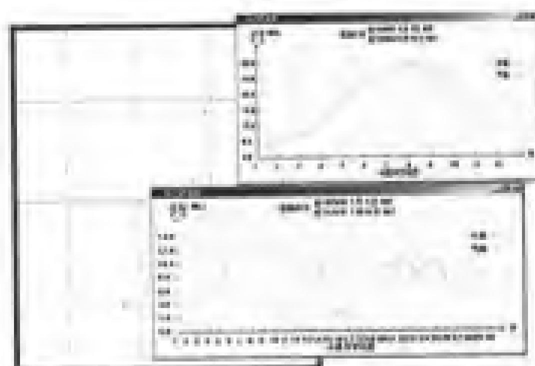
1. 点过程实例

点过程表现的是海洋中某点的物理值随着时间的变化过程。在海洋中任意选取一点，便可以表现出所选取点上物理值的时间变化过程。图 5 - 28 例中采用的是 hdf 格式的 1998 年 NOAA SST 来表现水温的变化过程，该点取自水温季节性变化明显的中纬度渤海海域，地理坐标为 128°2′E，38°50′N。由点过程图上可以得到该点水温随着时间的变化而变化的趋势，并且可以读出任何时刻所对应的温度值。

图 5 - 29 表现的是由固定的测站所获得的时间序列数据反演出的点过程图。本例中选取的站点为舟山群岛的嵊山站，上面的小图显示的是该站 1978 年全年的水温、气温变化趋势，可见其走势同上例中的渤海点过程非常相似，水温和气温的走势也基本保持一致。底下的小图显示的是该站 1978 年 1 月份的水温、气温的变化过程，实际上是对全年点过程以天为单位进行的局部细化，表现了其微变化过程。可以看出一月份的气温要低于水温，而且气温的波动比较大，而水温变化比较平缓。

时空数据的点过程可视化方法比较简单，直观。是通过静态的平面图形来反演时空数据的变化过程，我们可以从点过程图上得到该点在相应时间范围内所表现的物理属性的相关信息。


图 5-28　点过程可视化的实现


图 5-29　实测数据点过程可视化

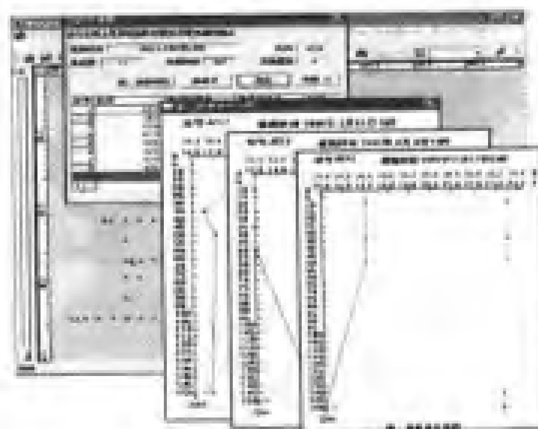
2. 线过程实例

MaXplorer 支持线状目标时空数据的可视化方法(在这里简称为线过程方法),这里介绍在直角坐标系中的两种表示方法,一种是静态方法,另一种是动态方法。

图 5-30 是静态线过程方法的显示。选取 2003 年 MODIS SST 数据。所选取的线位于墨西哥湾,线段两端点地理坐标分别为 80°20′W,32°13′N 和 75°20′W,28°20′N。静态线过程方法是把该线的时间序列数据按照时间顺序依次排在坐标上,横坐标表示时间,纵坐标表示线段的长度,用不同的颜色代表不同大小的物理值。从过程图上可以得到该时间范围内任何时间、线段上任何位置的属性值大小。该方法也可以提取各种海洋锋或水团的位置。本例中湾流的冬春季节温锋位置在图上清晰可见;由于夏季湾流水温比较均匀,基本保持在 28℃左右,温锋不明显;到了秋季温锋又重新出现。这样一个线过程只能确定该线上温锋的位置,如果要确定整个锋的路径,则必须做多个线过程才能完成,详见第 14 章。

图 5-31 是动态线过程方法的显示。动态的线过程方法是用一个坐标轴表示线的长度,另一个坐标轴表示物理值的大小,每一时刻在坐标上都有一个曲线表示整个线段上物理值的大小。把时间序列数据按照顺序依次在坐标平面上进行播放便可以得到线段上物理值的动态的变化过程。利用铅垂线方法来得到海水温度和盐度随着海水的深度的增加而变化的趋势是一种比较常用的海洋研究方法。如果以天为单位,则每天都可以得到不同的铅垂线过程图。当然,根据研究目的的不同,时间分辨率既可以是天,也可以是


图 5-30　静态线过程可视化


图 5-31　动态线过程可视化

小时、月、年等。把这样的关于铅垂线上物理值的时间序列数据按照一定的时间间隔进行连续的播放，就不但可以观察温度和盐度随着深度的变化而变化的趋势，而且还可以得到二者随着时间的变化而变化的趋势以及二者之间的变化关系。为了使每一帧的画面变化比较平滑，提高视觉效果，还可以对数据进行时间内插。这是二维平面加时间维的表示方法，是一种重要的时空数据的可视化方法。

3. 面过程实例

面过程方法是对关于平面现象的时空数据的可视化。MaXplorer 支持多种格式数据的面过程，可完成多种主题时空数据的过程可视化，观测多种海洋现象的变化过程，比如，可以应用 TOPEX/POSEIDON 卫星测高数据分析厄尔尼诺年太平洋海表高度的变化过程，可以清楚地观察到厄尔尼诺和拉尼娜现象由发生、发展到消亡的整个过程。

以下仅用 NOAA SST 进行面过程方法说明。首先在全球平面上选取感兴趣的区域，对其进行切割，形成动态过程文件。利用可视化功能，可以分析感兴趣区域海表温度的变化过程。由图 5-32 可见，一月份在大西洋东海岸有一个冷水南侵的过程，墨西哥湾流上的变化也非常明显。

4. 体过程实例

体数据的可视化方法是一种重现三维实测数据的方法。要得到体过程，需要大量的时间序列的空间数据，而实测数据，特别是三维的大范围海洋时空数据很难获取，解决这一难题的有效方法就是进行时空插值。用已知数据对待测点进行近似插值，这样就满足了体过程可视化方法的基本需求。用三维可视化方法表示每一时刻场的状态，然后把时间上连续的每个状态进行连续显示，即完成一个体过程的可视化。图 5-33 是某一时刻的属性场的一个状态，每一个小球的颜色表示的是该空间位置物理值的大小，把这样的在时间上连续的场的状态，进行连续显示，则完成一个体过程的可视化。

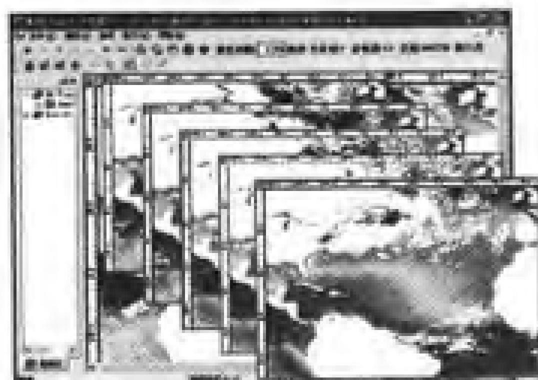


图 5-32 面过程可视化的实现

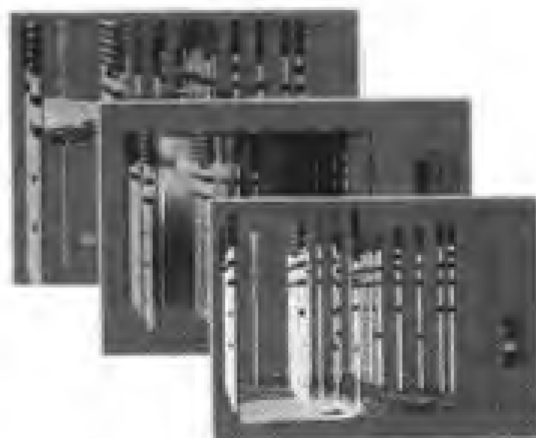


图 5-33 海洋测量三维重现与分析

参考文献

1 苏奋振. 2001. 海洋渔业资源时空动态研究:[博士论文]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所

2 Ullman D, Brown J, Cornillon P, Mavor T. 1998. "Surface Temperature Fronts in the Great Lakes." J. Great Lakes Research, 24:753-775

第6章　集成环境与模式集成

6.1　集成研究进展

地理信息系统是分析和处理地理数据的一项通用技术，具有采集、存储、分析和显示具有空间位置信息的功能。GIS包含许多工具，包括对空间和非空间地理数据输入、编辑、显示，以及通过数据库对数据进行存储和管理，在此基础上对数据进行空间分析。在GIS中，传统的地图信息可以将模拟信息变成数字信息；也可以通过合适的数据模型以及数据结构来将多源的、海量的地理信息数据进行存储和管理，同时可以进行查询、检索和统计分析。GIS具有很强的空间分析功能，如缓冲区分析、地形分析、叠加分析、网络分析等等。随着国内外GIS的研究和普及，目前地理信息系统已经被越来越多的人所应用。

但是，GIS的时空分析功能相对还是有限的，尤其是那些基于机理和模型的模拟分析方面的研究刚刚开始，这些模型在通用的GIS软件中还不多见。在海洋研究中，有许多适用于海洋各专业的模型。海洋专业模型可以很好地对海洋多维时空过程进行模拟、预测，而传统GIS中实现起来存在一定困难。

如何既发挥GIS强大的空间分析功能，又能比较好的应用GIS目前没有提供但各种专业模型中具有的时空数据处理功能，是摆在研究者面前的一个问题。模型与GIS集成是解决这一问题的一种比较好的方法，目前国内外很多研究者都开展了模型与GIS集成方面的研究。GIS与模型集成的应用，遍及水文、大气、土地利用、生态以及遥感模型等方面。

水文模型与GIS的集成方面起步比较早。D. Z. Sui(1999)在80年代就开始将水文模型与GIS的集成。ESTES(1987)集成地下水流动模型和地理信息系统，研究污染物对地下水的污染状况。Kilborn(1992)等把地理信息系统软件SYSTEM9和地下水源保护模型WHPA集成起来，研究污染源对水井的影响程度。刘学(1998)将GIS与二维泥石流数学模型集成系统研究。贾海峰(2001)等采用半紧密内嵌的集成方式将地表水水质模型WASP5与GIS进行了集成，分析密云水库的水质问题。孙鹏森(2003)对大尺度生态水文模型的构建及其与GIS集成进行了研究，认为集成的目的不仅是要提高模拟的技术水平，更要提高系统整体的概念化水平。耿庆斋(2003)采用紧密耦合的集成形式，利用VB和Active X软件对地理信息系统与一维水质模型的集成开发进行了探讨。

在大气方面，目前已有许多学者基于GIS在大气模型中的应用作出尝试。Rebolj(1999)等以VB为开发环境，把由Fortan建模的道路交通污染扩散模式和组件式GIS

(Mapobjects)相集成，用于模拟由交通运输引起的空气污染，模式间的数据以文件形式进行传输。赵碧云(1999)等把GIS作为大气扩散模式模拟结果的可视化处理工具，开发出大气扩散空间信息系统。侯继雄(2000)等将机动车尾气污染排放模拟模型和地理信息系统结合，将CAR模式的模拟计算和GIS集成在一起。鲁小琴(2003)提出了污染扩散模型与地理信息系统的结合，可以实现污染物的时空变化可视化，并用动态链接库来调用大气污染扩散模型Gauss，然后将指定区域的各点污染物数据结果在Arcview中显示。赵伟(2003)对于GIS与大气环境模型集成进行了研究与实践。作者对二者之间进行了紧密集成设计与开发。

海洋模式与GIS的集成也有可喜的进展。贾建军等(2000)将GIS与东中国海潮波系统与海岸演变模拟进行了集成，并取得了一定的研究成果；王红梅等(2000)以GIS为核心设计了海洋油气预测集成系统；赵冬至等(2000)则利用GIS为平台集成海湾陆源污染物总量控制模型。

在集成的技术方面，也进行了大量的尝试。Kehris(1990)把统计分析软件包GLIM和GIS软件系统ARC/INFO集成起来，以便于空间分析技术的实现。Ding和Fotheringham(1992)以GIS为核心系统，利用GIS的宏命令语言编写事件驱动程序，在运行时激活模型系统，提供了一个无缝的操作环境。张犁(1996)从数据、模型及GIS三个方面分析了集成中所需面对的一些问题，并尝试了基于对象连接与嵌入(OLE)技术的动态集成方法。王少文(2001)的实质是对象状态数据模型、对象模拟模型和对象分析处理模型的综合表达与处理，提出了建立在元数据和元模型基础上基于数据处理流程集成方案的一般结构。陈崇成(2002)对空间决策支持系统中模型库与GIS的紧密集成进行了分析。范泽孟(2004)以生态系统的综合评估系统为例，对于资源环境模型库系统与GIS综合集成进行了研究。

在这些集成方面的研究中，主要是将地理信息系统的数据采集、管理、显示以及有限的空间分析模块与各个专业的专业模型相结合，根据专业模型集成一些新的应用系统。通过这种方式，不但对GIS本身的时空分析能力不足的缺陷进行了扩充，而且可以更好地利用各个专业已有的模型，取得了很好的研究效果。

6.2 集成目标

一般地，海洋模型与GIS集成，要达到一系列的目的。从模型角度和GIS角度进行分析，可以比较清晰地刻画出模型与GIS的角色。

从模型角度，主要目的如下：

(1)模型的输入输出界面友好。目前，有很大一部分海洋模型的开发是基于FOTRAN语言，在这种情况下，数据的输入输出是在DOS界面下进行，输入输出界面不友好而且效率比较低下。海洋动力模型原来的输入输出界而就属于这种方式，但是通过海洋动力模型与GIS的集成，可以通过对话框进行数据的输入输出，界面更加友好、大方而且也提高了效率。

(2)数据管理方便。一方面,GIS可以为海洋模型提供良好的数据支持环境,另一方面可以为海洋模型的边界条件、环境模拟对象的数量、空间位置等参数进行增删、调整和修改。由于各模型对数据的需求不同,GIS为各模型的数据传递提供数据格式转换工具和数据抽取手段。

(3)实现可视化表达。通过GIS与海洋模型的集成,可以实现地理数据以及模型的可视化表达,以可视化的方式来表达海洋及其相关的时空演化规律,并进行相应的一些时空分析工作。

从GIS角度可望达到以下目的:

(1)数据方面:从模型的运转中,GIS可望得到大量具有时间序列的数据,这些数据往往难于从现场实测获得。从数据的时空分辨率来说,可以调节模型的参数,以获取用户需要的不同时空分辨率的数据,因为不同的研究尺度,需要的数据时空分辨率也不同,比如研究整个中国海数值模拟计算格网可以使用分辨率比较低的计算格网,但这样的数据就不可能满足辽东湾决策支持系统。

(2)GIS时空分析功能方面:在GIS中,目前缺乏比较有效时空分析功能,海洋模型为GIS提供海洋演化的时空虚拟手段。GIS一直以统计见长,模型的集成为GIS增加了对机理和连续过程的模拟和分析功能。

GIS与模型的集成,为人们分析、比较、挖掘时空数据中的规律提供了重要手段,使人们对不同对象、不同空间、不同时间和不同属性进行比较模拟分析的可能。

需要强调的是,为了建立综合、统一可运行的集成环境,需要各个环节人员的共同努力。从事地理信息系统开发的人员必须了解构模人员的需求,把更多的数学功能和分析方法纳入到地理信息系统应用产品之中;另一方面,模型人员必须熟悉地理信息系统的主要功能,并充分考虑到地理信息系统的数据结构,从而在彼此之间找到共同的基础(Berry 1993)。只有这样,才能不断提高集成的水平。

6.3 海洋模式集成方法

海洋模式集成是海洋地理信息系统中不可缺少的一部分,在海洋GIS的功能和定位中具有重要作用,可形成"动力模型-GIS系统"一体化的集成软件平台,可以对数值模型进行有效地调控;在此基础上,按照模型的研制理论,可以在该软件平台基础上进行二次开发和拼装。

地理信息系统作为一种解决空间问题的思维方式和作为基础支撑系统、空间分析技术手段的作用,它在许多地学领域得到了广泛的应用。根本原因在于GIS空间分析和模型模拟能力较弱,通常只能提供辅助决策过程中的数据级的支持,不能提供实质性的决策方案,难以求解复杂的结构化较差的空间决策问题。因此发展一种具有更加复杂的分析技术和模拟能力的地理信息系统就成为必然的趋势。

集成了海洋数值模型的海洋信息系统可以实时得到海洋计算数据,与海洋数据处理分析方法结合可以谋求处理高维、海量数据的智能化的地理信息系统。完整的海洋地理

系统就是这样一种带有智能化处理性质的数模系统，但目前大多还处于“数据＋模型＝结果”的状态。随着数值模型系统和地理信息技术的发展，也出现了一些类似的软件支持系统，它们的概念与方法近年来被引入相关的研究领域，产生了一些新的概念。这样一种地理信息系统是模型及数值模型库分析系统、数据库及空间数据库系统、知识库系统、方法库系统的有机集合体。这里面模型和数值模型是核心，数据和知识是它的“原料”，方法是模型的实现。如何实现以模型/数值模型库为核心的多个子系统的集成成为当前的热点研究内容之一。集成的模式总体来说有三种：

(1)松耦合。采用中间数据文件或公共数据环境的方法。在各模型或子系统之间进行数据的输入输出(数据 I/O)操作达到联系的目的。这种方式原理简单，实现起来容易。通常的系统集成多数采用该模式，如梁启章的农业知识决策支持系统。

(2)紧耦合。这是今后发展的趋势，也是目前的研究难点。这种模式表现为：统一的用户界面；一致的数据结构；支持对模型的修改和重新开发；支持用户与模拟事件之间的交互。面向对象的方法，在这方面有较多的尝试，并且建立了部分原型系统，离实际运行系统的目标还有一定距离。

(3)半耦合。这种模式介于前两者之间。它一般具有统一的用户界面，或者还有统一的数据格式，有的还带有宏语言，通过宏语言可以将系统的单个模型资源进行一定顺序的连接(即编程)从而构建新的复合模型。目前大量的模型系统都属于这一类，如 Arc/Info、ERDAS 等。

海洋数值模型的集成关键是数值模型的集成环境，要求具有一般的开放性，有利于模型与其他系统的结合研究。数值模型的集成过程中，首先应解决的是集成的规则标准问题，如：通信的规则(数据、消息传递方式与格式)、模型或其他子系统的调用规则等。模型的标准化研究是一个老问题，一直难以解决。一般有几个方面的内容：模型的说明、模型定义、模型的功能、模型的管理和控制以及模型使用中策略。模型的标准化有利于建立高效的构模系统，对提高总体的系统集成效果起着举足轻重的作用。数据和方法选择是系统集成中的另一个问题。由于数值模型可变的成分数量众多，并且不同的模型也许有不同的数据方法需求，因而造成系统中的数据格式多而杂，模型之间的数据通信必须经过辅助程序的数据格式转换操作后才能进行，从面造成系统内部模块分割，大大降低了系统的运行效率和稳定性。传统的数据管理技术在此遇到了挑战，一些新的数据模型研究正试图从根本上解决这个问题。

6.4 集成的体系结构

海洋专业模型与 GIS 集成系统的体系结构直接影响系统的集成程度和运行效率。按照模型与 GIS 之间的关系可以将集成结构分为：对称结构(peer-to-peer)、嵌入结构(embedded)、动态链接结构(dynamic linking)和基于构件的集成结构，嵌入式紧密集成等集成结构。在开发的过程中，可以采用四种开发方式：自主开发，二次开发，集成二次开发，自主控件集成开发。这些集成的结构和开发的方式各有优缺点，每种结构及开发

方式都有自己的优点，但都必然要牺牲另外某方面作为代价。例如，Abeli 等(1994)认为对称结构一般用来连接两个彼此独立的软件系统，但由于这种结构利用的是两个独立的系统，所以对各自系统内部和外部都不做任何变化，集成系统代价低，但同时也造成了效率低下的后果。

嵌入紧密集成结构是对嵌入结构的一种扩展，在这种结构中 GIS 是其核心，可以利用 GIS 提供的语言或者一些面向对象的程序设计方法来编写相应的程序，从而提供一个无缝的操作环境，这种集成结构运行效率比较高，而且不要太多的人力物力，是目前一种较好的集成结构。当然选择哪种集成方式还要根据具体的需求以及具有的条件来确定。

在本书中，采用集成效率较高，代价较小的嵌入式紧密集成二次开发方式对海洋动力模型和 GIS 进行了紧密集成，为进一步的决策支持奠定了基础。

6.4.1 对称结构

这是一种目前广泛使用的体系结构，通常都是为了连接两个彼此独立的软件系统。其特点是利用或建立两个独立系统 A 和模式 B，如图 6-1，用数据的输入/输出功能 T 完成数据在两个独立系统之间的交换。它并不对独立系统的内部或外部结构进行任何改变，因此集成系统所需付出的代价是很低的，一般根据系统的需求，开发一个数据转换模式 T 即可。当然系统的效率也是很低的，用户必须在两个独立的软件系统之间来回切换，人为地设定数据的流向。这种方式的集成只需少量的编程就可以实现，通常是最终用户的集成策略，以较低的代价换取一个可运行的集成系统。

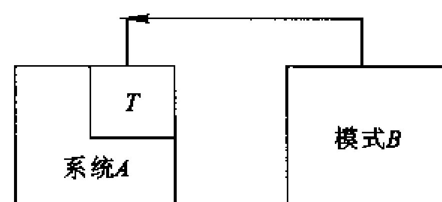


图 6-1 对称结构

6.4.2 嵌入结构

嵌入式集成系统是以地理信息系统为核心系统，利用地理信息系统的命令语言集编写事件驱动程序，在运行时激活客户系统的操作，从而提供了一个无缝的操作环境。其中，如图 6-2，模块 C 为主系统功能调用，模块 A 为客户开发的应用模型，模块 T 为数据模块。数据的输入/输出功能被包括在事件驱动程序中，对用户而言，这种功能是透明的最大好处是可以获得统一的运行环境和较高的运行性能，可以充分利用地理信息系统的空间分析和统计分析功能进行数据的生成和模型的构造。但是，它要求作为基础平台主系统的地理信息系统或其他系统必须是一个较为开放的系统，有强大的命令语言集或开放的应用程序接口(API)支持。然而，如何确定主系统应包括哪些分析功能仍然是一个问题，而且用结构化的命令语言似乎仍然难于构造出非结构化问题的求解方案。这种方式的集成在某种程度上也增加了系统开发人员的负担，系统开发人员必须理解模型运行的全部过程并且对模型进行合理的结构分解，以确定什么时候、什么地方需要进行数据转换或需要利用主系统内部分析功能等。

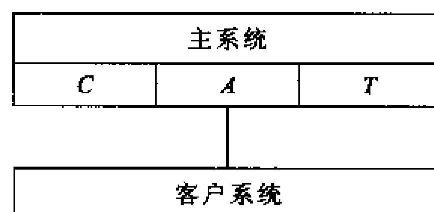


图 6-2 嵌入结构

6.4.3 动态链接结构



图 6-3 动态链接结构

在进行基于 Windows 平台的开放式地理信息系统研究时，可以把地理信息系统核心系统与外部服务程序及客户程序通过对象连接与嵌入方法动态地连接起来（如图 6-3），能够很好地完成数据在不同系统间的转换与共享。把该方法应用到类似的模型与地理信息系统或专家系统的集成上，同样是可行的，其前提是模型系统需要与主系统同样地遵循 OLE 调用规范。

应用面向对象的程序设计方法，数值模型可以被定义为一个抽象类。这时，该类的一个实例就与其他的 OLE 对象连接或嵌入到客户文本中。封装在专业模型内部的操作可以用 C++ 等语言来实现。通过预先定义的属性和方法，专业模型与地理信息系统就可以动态地通过 OLE 机制链接起来。这种集成方法的好处在于集成系统的统一性、灵活性以及较高的性能，由于这种连接是动态的、可以扩充的，因此系统的规模是可变的。在任何遵循 OLE 协议的应用中，均可链接专业模型服务程序，使不同的软件互联可以很方便地完成。不足之处在于要求主系统软件与专业模型都遵循标准协议，构成开放式系统，以公用的 API 进行系统集成的编程工作。因此，也要付出较高的代价。

6.4.4 构件方式

近年来经典的客户机/服务器计算模型正在向以构件为基础的分布式计算模型发展。新的模型把目前仍然巨大的两段式的客户机/服务器体系的地理信息系统分解为可以自我管理的构件。这些构件间可以跨越网络、跨越操作系统进行互操作（如图 6-4）。应用开发人员可以很容易地通过对这些构件的组装去开发新的应用软件。地理信息系统软件的构件大小可以差异很大，从一个基本的完成单一功能的对象，到一个能够独立完成特定功能的应用构件，可以分为不同的层次，如功能构件和应用构件。功能构件是整个结构的核心，提供系统特定的地理信息系统的功能服务，如数据的获取与编辑、空间数据的管理与查询、地形分析、图形叠加、网络分析、专题制图、数据转换、符号设计、可视化表达等。应用构件是最上层的地理信息系统构件，它直接与专用的用户连接，响应用户的操作请求，并为特定的应用服务。



图 6-4 基于构件方式的系统集成结构

构件式的地理信息系统与传统的地理信息系统相比，一些新的单元加入到新的模型中。这些单元的加入是为了适应分布式计算环境下的要求。数据的连接提供了异构存储的单一存取接口；数据目录通过对元数据的管理提供使用者更为有效查找和使用空间数据的方法并协助网络环境下数据和操作的分配和平衡；安全管理服务于分布环境下多用户的操作需要；而事件管理则用于处理用户对不同构件提出的服务请求，是用来集成整个系统的主要单元。同时，一些构件的内涵比传统意义上的为大。例如，数据转换构件比以往任何时候都重要，它不仅负责不同时空坐标系下的数据转换，而且负责数据模型、比例尺等的转换；空间数据管理与查询构件可以由关系数据库提供。

6.5 集成需求分析

6.5.1 需求任务分析

主要分析集成的应用目标与功能需求。比如在本书要探讨的遥感模型的集成中，遥感作为一项深受人们重视的海洋高技术监测手段，但目前大多数遥感信息系统功能单一，只能进行非常有限的遥感应用，并缺乏良好的基础平台作为支撑。由此，对于遥感综合应用来说，其集成目标是：构建在统一框架下对遥感监测和信息提取模块的综合集成平台。为完成此目标需要针对集成平台进行改造，各模块只保留各种信息提取子模块和结果可视化子模块，其他数据输入输出、数据管理、部分数据预处理、数据处理分析及可视化等功能均由综合集成基础平台负责。集成后平台功能必须满足诸多遥感综合应用的相关功能，主要如下：

- 遥感数据综合管理、处理需求。
- 遥感信息提取需求。
- 遥感数据对比验证需求。
- 处理分析及可视化需求。
- 融合地方数据库并进行简单处理的需求。
- 产品制作与信息发布的需求。

6.5.2 工作基础分析

1. 现有集成平台分析

集成的基础平台直接决定了集成后平台的优劣，为此在集成前必须完成对集成平台的测试工作和评价工作。主要测试其稳定性和可靠性，评价其技术性功能及处理能力，考察其作为基础平台的合适性，并确定其需要增加的技术功能，有必要时甚至需要确定所需调整的体系结构。平台的测试最好由第三方进行，容易发现问题，也更加客观公正。

2. 各模块评价

由于模块的生成者，大都是各学科的专业人员，其专业模块强调的是解决算法问题，一般不重视模块的在信息技术方面的要求。由此一般存在以下问题。

(1)软件模块化程度不足。软件的专业技术指标非常突出，但是软件的模块化开发保障不到位，使得软件的模块化程度不足，部分软件甚至非模块化开发，这为以后的模块化改造和总体集成增加了很大的工作量。

(2)软件模块的稳定性不高。部分软件的稳定性不高，经常出现错误，有时还会出现死机现象。

(3)软件的专业技术指标无法衡量。由于各模块的专业性很强，需要专业人员进行测试，因此其专业技术指标很难由其他专业人员准确衡量，这对以后的试运行效果产生较大的影响。

3. 综合集成整体设计分析

由于综合集成往往横跨多学科，有的甚至是几十个学科，由此整体设计之初往往考虑的不够周到，需要重视的问题很多，比如以下几个方面：

(1)海域适用性。由于参加集成的各遥感监测和信息提取模块的研究海域各不相同，所以在变换海域后其精度无法保障。

(2)数据缺乏问题。根据各模块的实际情况，各模块的研制方往往自行解决数据源问题，但仅限于部分研究海域的历史数据。由于多年运作的途径、人员等限制，有些数据的来源并非可以与集成方或用户方共享。

(3)数据的预处理。数据需要进行相应的预处理工作，才能应用到集成平台或模块中。不同模块的设计和目的不同，导致所需要的预处理工具繁多，难以标准化。如何在有限的集成投入的情况下，尽可能地满足整体集成平台及其模块的需要，也是集成的难题。

6.5.3 接口需求分析

由于各个模块的开发是各自进行，如此，普遍存在数据接口问题。由此根据目的和集成的紧密程度，需要分析各模块的接口改造的需求，有时需要明确新增接口的需求。接口分析考虑的接口类型包括输人输出接口、运算接口、文件系统接口、软件资源接口等。

6.6 集成工作内容与流程

6.6.1 工作内容

集成工作的内容主要包括：集成系统结构设计、集成平台的改造、各模块的改造、集成调试四大部分，分述如下。

1. 系统设计

必须根据应用目标和系统的工作流程来确定，完成各模块的合理配置。由此，必须完成集成系统的总体结构设计。系统整体结构设计合理与否，直接决定代码生成的工作量，以及代码的冗余度，还决定了最终集成系统的运行效率、稳定性等。这部分工作必须有专业用户、系统设计人员、普通用户共同完成。

2. 集成平台改造

集成平台为模块化集成提供统一框架下的数据输入输出、部分数据预处理、数据文件管理、处理分析、可视化(分析)等功能。结合应用需求和集成功能需求，去除部分冗余内容，补充部分平台应用性功能，如此，使其能满足各方需求，又能充分保证其稳定性和可靠性。

3. 模块改造

参加总体集成工作的各模块研发方需要对各自提供的模块进行改造，改造的技术标准由总体集成方根据实际情况制订。

4. 综合调试和试运行

总体集成方需要对满足集成要求的模块进行集成，在统一框架下完成综合调试，安装调试和试运行，模块开发方与集成方应共同完成常规维护工作。

6.6.2 技术流程

系统集成主要技术流程如图6－5所示，以下简要介绍其中模块集成和安装运行两部分的要点。

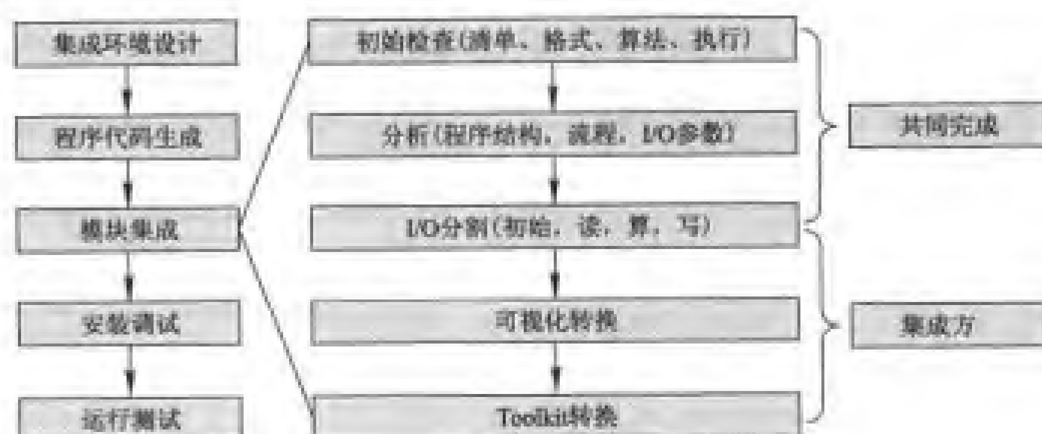


图6－5 系统集成技术流程

1. 模块的初始检查

各模块根据集成要求对模块进行适当调整，并向集成方提交必要的技术资料，主要是程序清单、数据清单、格式、算法等，以及相关技术手册、操作手册等，并与集成方完成其执行过程，以确保模块无障碍，并保证输出结果能够达到足够的专业技术指标。

2. 安装调试与运行测试

此阶段必须有模块方与集成方的技术人员的共同参与完成。由集成方负责检查运行方的运行的软硬件环境。由模块和集成方负责对运行方相应人员进行培训。集成系统在运行方试运行相当一段时间后，由运行方出具试运行报告。在此期间，允许模块方和集成方进行必要的技术处理，或者处理故障。

6.6.3 质量控制与规范

在集成的整个流程中，质量的控制与规范的遵循具有突出的重要性。质量控制一般从两方面进行控制，即专业技术指标（如信息提取精度评价）和软件技术指标（如软件稳定性评价）两类，一般均有相应的规范可以遵循。只有达到这两方面的要求，才能完成一个可靠的集成系统。

一般来说，软件技术指标或编程规范之类，应由集成方提出，由模块方与集成方共同约定。专业技术指标则由该专业的第三方提出。在集成前必须对模块和集成平台、集成环境进行以上两方面的检查与测试，并对其进行评估与改造。

由于在集成过程中，必然要涉及到多种语言（VC++，VB，Fortran 等）的混合编程技术，这种编程是跨操作系统的，而且在不同的软件运行环境（如 IDL、ARCGIS 等）下的混合编程，由此，必须制定有既严密又切实可行的方案和规范，以保证各模块互相间不干扰，维持集成系统的高效、稳定运行。特别是在进行模块改造的工作中，要严格遵循制定的函数、变量、类、控件、接口等规范。

参考文献

1 陈崇成，王钦敏，汪小钦. 2002. 空间决策支持系统中模型库的生成及 GIS 的紧密集成. 遥感学报，6(3)：168-172

2 耿庆斋，张行南，郭亨波. 2003. 地理信息系统与一维水质模型的集成开发. 环境科学与技术，26(增刊)：35-36

3 侯继雄，程声通，苏保林，等. 2000. 机动车污染模拟和地理信息系统支持. 城市环境与城市生态，13(2)：57-59

4 贾海峰，程声通，杜文涛. 2001. GIS 与地表水水质模型 WASP5 的集成. 清华大学学报(自然科学版)，41(8)：125-128

5 贾建军，闾国年，宋志尧，等. 2000. 中国东部边缘海潮波系统形成机制的模拟研究. 海洋与湖沼，31(2)：159-167

6 刘学，王兴奎，王光谦. 1998. GIS 与二维泥石流数学模型集成系统研究. 中国图像图形学报，3(12)：1 037-1 041

7 鲁小琴，束炯，孙娟. 2003. 城市环境管理信息系统的应用与技术. 上海环境科学，22(11)：817-819

8 苏奋振. 2003. 海洋 GIS：[博士后工作报告]. 北京：中国科学院遥感应用研究所

9 孙鹏森，刘世荣. 2003. 大尺度生态水文模型的构建及其与 GIS 集成. 生态学报，23(10)：2 115-2 124

10 王红梅，朱振海. 2000. 海洋油气预测集成系统设计及初步进展. 遥感技术与应用，15(1)：32-35.

11 王少文，薛安，倪晋仁. 2001. 基于 Petri 网的模型与 GIS 集成研究. 遥感学报，5(3)：166-170

12 张犁. 1996. GIS 系统集成的理论与实践. 地理学报，51(4)：306-314

13 赵碧云，贺彬，朱发庆. 1999. 大气污染扩散空间信息系统. 环境科学研究，，12(6)：10-12

14 赵冬至，赵玲，张丰收. 2000. GIS 在海湾陆源污染总量控制中的作用. 遥感技术与应用，15(1)：63-67

15 赵伟，林报嘉，邹伦. 2003. GIS 与大气环境模型集成研究与实践. 环境科学与技术，26(5)：27-29

16 Abel D J, Kilby P J, Davis H J R. 1994. The system integration problem. INT. J. Geographical Information System, 8(1)：1-2

17 Berry J K. 1993. Treating maps as spatial data and the analytical capabilities of GIS. In：Goodchild, M, Park, E., Steyaert, L., eds. Environmental Modeling with Geographical Information System. Oxford University Press

18 Ding Y, Fotheringham A S. 1992. The integration of spatial analysis and GIS. Computers, Envionment and Urban Systems, 16：3-19

19 Estes J F, Mcgwire K C, Fletcher G A. 1987. Coordinationg hazardous waste managementactivities using geo-

graphical information system, International Journal of Geographical Information Systems, 1(4): 359 – 377

20 Kehris E. 1990. Interfacing ARC/INFO with GLIM (R). Research Report No5, North west Reginal Laboratory, Lancaster University

21 Kilborn K, Rifai H S, Badient P B. 1992. Connecting groundwater models and GIS, Geo-systems, 2: 26 – 31

22 Rebolj D, Sturn P J. 1999. A GIS based on ponent oriented intergrated system for estimation, visualization and analysis of road traffic air pollution. Envionm Modeling & Software, 14: 531 – 539

23 Sui D Z, Maggio R C. 1999. IntegratingGISwithhydrologicalmodeling: practices, problems, andprospects. Computers, Environment, andUrbanSystems, 23: 33 – 51

中篇 技术篇

第7章 海洋GIS需求分析

本章以中国海岸带及近海卫星遥感综合应用技术平台的研究与建设为例，阐述海洋GIS研发的需求分析。需求调查的目的是了解相关行业或用户对系统的需求。由此需要划定用户范围，选择调查对象。根据调查结果，分析所需技术与功能，为技术设计制定总体框架。在本章中仅对需求调查作原则性或简要介绍，不列具体的需求调查文档。

7.1 系统概述

海岸带和近海的高度开发极大地促进了沿海经济发展，与此同时，也引发出诸如大面积近海污染、频发的赤潮、日趋衰退的渔业资源等一系列的资源与生态环境问题，并在一定程度上妨碍了区域可持续发展。研究和发展海岸带与近海卫星遥感综合应用的通用技术系统研究不仅为实现宏观、动态、同步监测区域生态环境问题提供全新的技术手段，而且可提供协调解决上述问题的整体技术方案，为全国不同区域和地方的海域及海岸带管理、研究和开发提供强有力的技术基础。

本系统重点是发展面向近海和海岸带遥感信息应用的通用技术，构建起具有信息处理、分析和管理功能的海洋信息综合应用技术方法体系和遥感综合应用通用技术平台，开展全国、省、地区三个级别的典型示范应用(关系见图7－1)。

7.2 系统目标

随着新型海洋监测技术的不断应用和因特网的迅猛发展，海洋工作者目前可以获取的海洋信息量正以指数形式增长，如何以适当的方式分析处理海量数据，提取有用的信息，并通过对海洋信息的分析、综合、归纳、演绎及科学抽象等方法，研究海洋系统的结构和功能，揭示并再认识海洋现象的各种规律，是当前急需解决的重要问题。

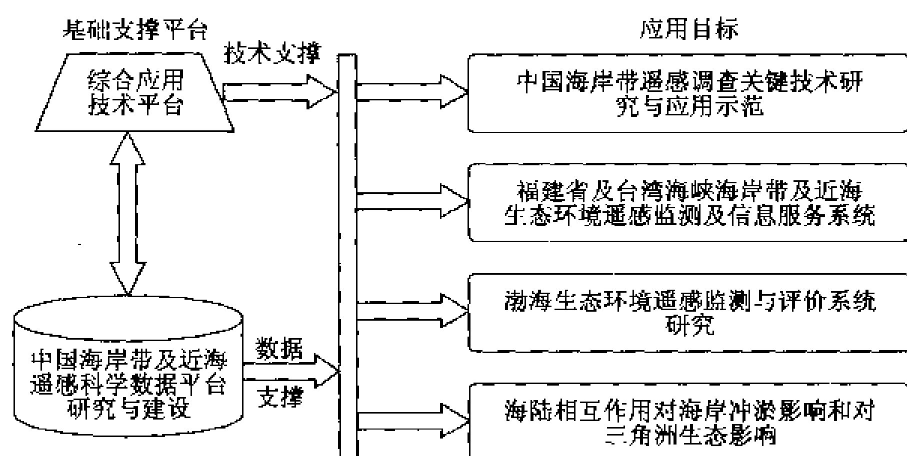


图 7-1　综合应用技术平台各部分构成及相互间的关系

显然利用地理信息系统技术来处理、显示和开发海洋信息，发展具有创新性、自主知识产权的海洋和海岸带空间应用和信息系统高技术，是解决上述问题的最佳选择。通过攻关解决 GIS 若干方法，包括对海洋现象的空间形态的表达、提取及运算，动态现象的时序特征分析，以及现象的尺度精度评估等方面，既开辟我国海洋与海岸带 GIS 应用的新领域，也为海洋信息科学的管理、分析和应用提供强有力的工具。

系统建设的目的在于：解决符合海洋要素数据的综合信息管理、智能化海洋遥感信息分析与专题信息提取等关键技术的基础上，研制和开发具有自主知识产权、具备海洋遥感信息管理、分析和信息服务等功能、达到 21 世纪初国际先进水平的通用海洋卫星遥感综合应用技术系统。

7.3　现有系统调查

7.3.1　现有系统调查准备

为了掌握现有海洋时空处理的方法、流程和系统，需要查阅大量文献资料，并与国内外相关科学家和业务部门进行交流，在此基础上设计系统调查表（见表 7-1、表 7-2、表 7-3）。并从众多的相关科学家中遴选出较有代表性的科学家，采用面谈与信函相结合的方式进行需求调查，并与之共同探讨相关问题。这项工作在研发前期结束后，在研发的整个过程必须持续地进行，以修正需求。因为随新的理论、技术、方法的产生，或新仪器的投入，或新数据种类的使用，均会产生新的需求。比如 Argo 数据的使用，提出了系统对 Argo 时空数据查询、提取、分析、制图等需求。

7.3.2　现行系统与系统需求调查

由于目前并未有类似的海洋 GIS 系统，同时有许多的海洋学家及各涉海专业的技术

人员尚未很好地理解 GIS 的理论、方法和概念，有些甚至还很陌生。因此需求调查必须在充分交流对话的基础上进行，为了给调查对象有一个大体的了解，在需求调查前，在所理解的基础上对系统的构建有一个初步的方案（见图 7－2），系统需求调查是在此基础上全面、深入的展开。在调查前作三个方面的准备：

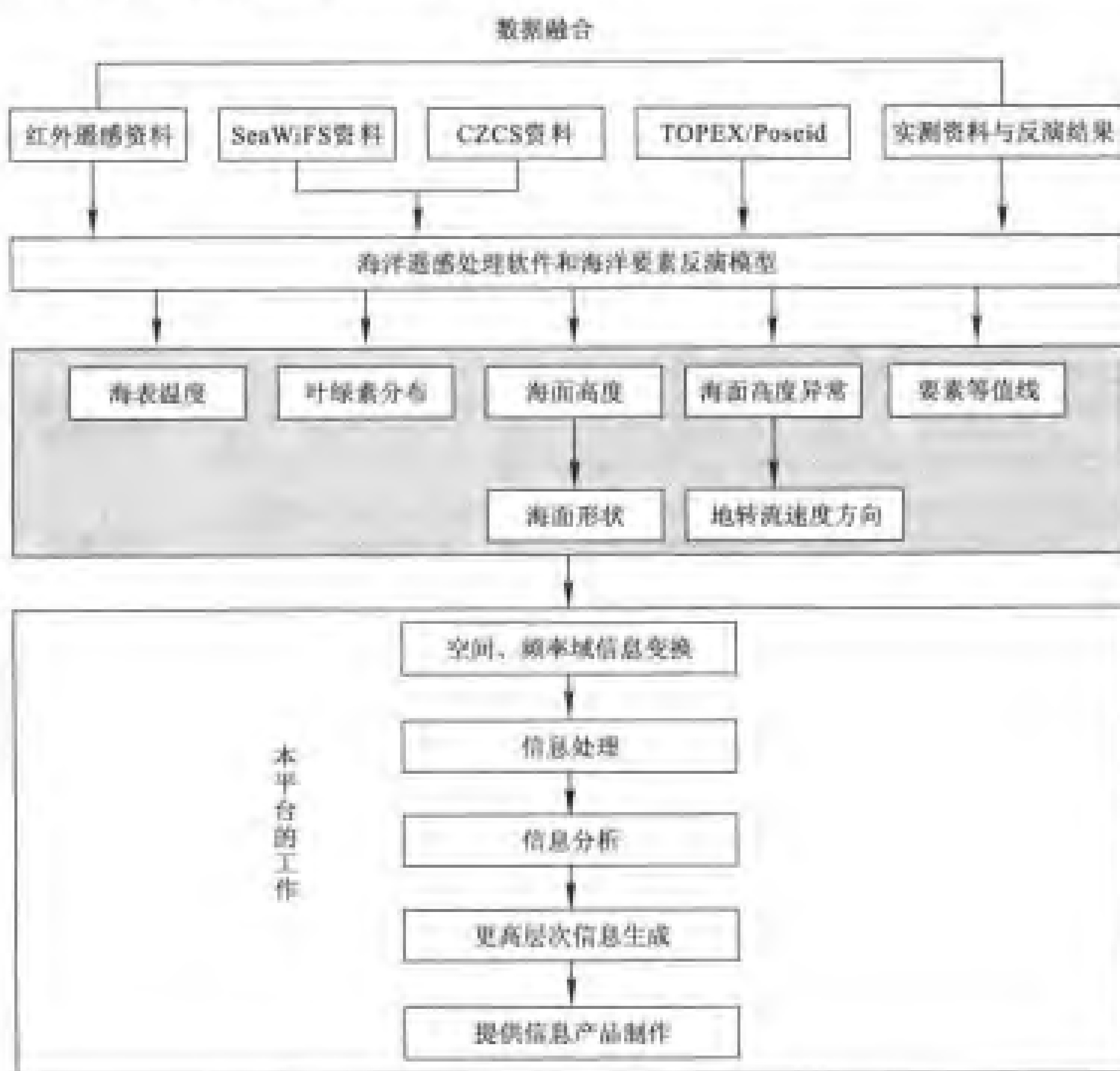


图 7－2　技术平台在信息处理与知识获取的流程中的作用和地位

1）功能模块组合图（见图 7－3、图 7－4）

• 用途：调查时作为提问基础。

2）用户需求调查表（见表 7－1 至表 7－6）用途：

• 被调查人员填写其需求及工作流程用；
• 座谈时调查人员作记录用（见表 7－4 至表 7－6）；
• 面谈或电话调查后，反馈给调查人员，确保信息一致。

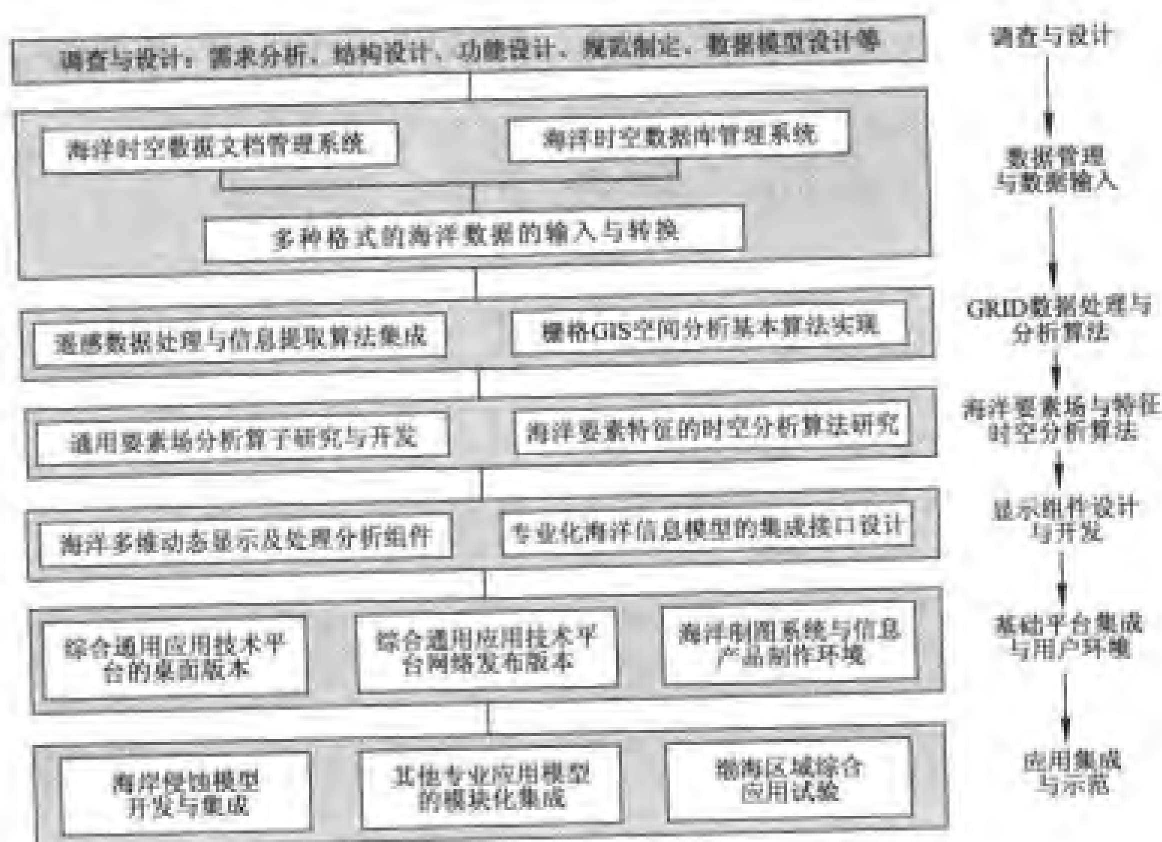


图 7-3　综合应用技术系统构建流程图

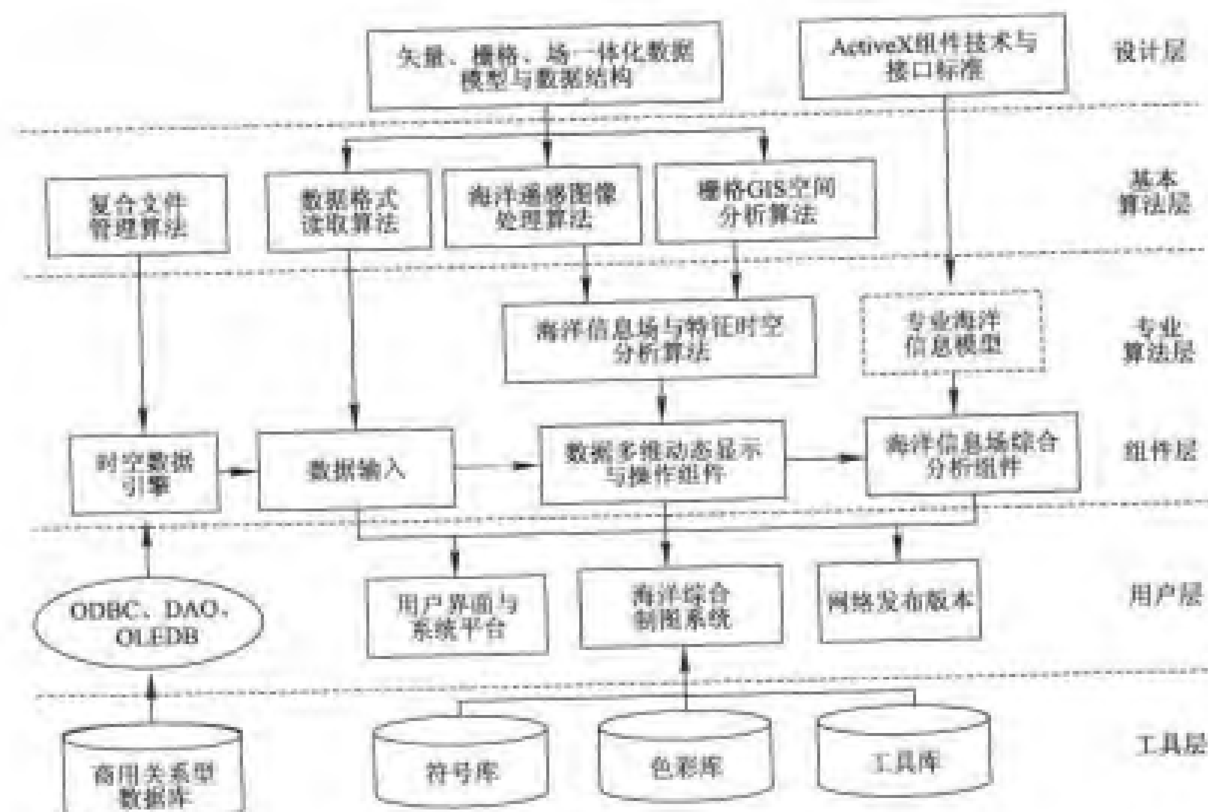


图 7-4　系统技术层次与组成

表 7-1　需求分析调查总表格式

调查对象：______________　　　　　　　　文件编号：______________

部　　门：______________　　　　　　　　日　　期：______________

分 析 员：______________

需求目的和要求
1. 2. …
所处理数据
1 2 … * 注：请提供以上数据的格式
所用工具
1 2 … * 注：请提供主要功能和在海洋中应用时的不足。
处理流程
* 注：流程图见附图，请根据实际运作流程对流程图进行完善修改，并尽快反馈给我们。
说明： 1. 以上需求分析是根据××××年××月××日与您（贵单位）共同讨论的结果而整理。 2. 请您（贵单位）完善以上"处理流程"，并尽快把结果反馈给我们。 3. 需求分析和处理流程请以书面材料的形式反馈给我们。

表 7-2　数据项调查分析表

序号：

功能名称：	
输入数据	数据项名：
	数据来源：
	空间分辨率：
	时间序列：
	时间分辨率：
	数据类别(空间或属性)：
	数据类型(字符或数值)：
	计量单位：
	比例尺：(对于图形数据)
	与其他数据的交叉说明：
	其他说明：
输出数据	数据项名：
	数据用途：
	空间分辨率：
	时间序列：
	时间分辨率：
	数据类别(空间或属性)：
	数据类型(字符或数值)：
	计量单位：
	比例尺：(对于图形数据)
	与其他数据的交叉说明：
	其他说明：
被调查人姓名：	调查日期：

调查人：　　　　记录人：　　　　整理日期：

3)现有数据调查表(见表 7-2、表 7-3)

• 用途:调查人员调查现有数据时记录用。

表 7-3　海洋分析常用数据调查记录表

序号:

<table>
<tr><td colspan="4">资料名称:</td></tr>
<tr><td rowspan="6">数据项</td><td colspan="3">名称:</td></tr>
<tr><td colspan="3">类型:</td></tr>
<tr><td colspan="3">精度:</td></tr>
<tr><td colspan="3">单位:</td></tr>
<tr><td colspan="3">值域:</td></tr>
<tr><td colspan="3">其他:</td></tr>
<tr><td colspan="4">空间覆盖范围空间分辨率:</td></tr>
<tr><td colspan="4">时间序列及时间分辨率:</td></tr>
<tr><td colspan="4">数据来源:</td></tr>
<tr><td colspan="4">数量:</td></tr>
<tr><td colspan="4">存储介质:</td></tr>
<tr><td colspan="4">与其他数据交叉说明:</td></tr>
<tr><td colspan="4">其他(备注):

密级:</td></tr>
<tr><td>提供者姓名</td><td></td><td>提供日期</td><td></td></tr>
</table>

调查人:　　　　　　记录人:　　　　　　日期:

表 7-4 需求分析调查表示例 1

调查对象：中国科学院海洋研究所　　　　文件编号：________

部　　门：水文室　　　　日　　期：2002-01-24

分 析 员：苏奋振、骆剑承、刘仁义

需求目的和要求
1. 将所要处理的数据从原始资料中抽取出来。目前主要是手工处理，有一部分采用"七五"项目所建立 FoxBase 数据库。 问题：(1)原有系统字符操作，界面不友好。 (2)按经纬度范围抽取，未考虑容限值；未考虑时间的不同步，即从数据库中抽取的数据可能属于不同月份，但分析时可能当成同步。 2. 将多要素作为属性进行聚类。 3. 正交变换，EOF。 4. 相关分析(交叉分析)。 5. 奇异值分解。 6. 海洋的数模，现在一般用国外的模式。而浅海的环流模式没有。
所处理数据
1. 海洋调查资料。 * 注：请提供以上数据的格式
所用工具
1. grapher。 2. 私人交流的程序。 * 注：请提供主要功能和在海洋中应用时的不足。
处理流程
* 注：流程图见附图，请根据实际运作流程对流程图进行完善修改，并尽快反馈给我们。
说明： 1. 以上需求分析是根据 2002 年 1 月 24 日与您共同讨论的结果而整理。 2. 您完善以上"处理流程"，并尽快把结果反馈给我们。 3. 需求分析和处理流程请以书面材料的形式反馈给我们。

表 7-5　需求分析调查表示例 2

调查对象：青岛海洋大学　　　　文件编号：________

部　　门：海洋系　　　　日　　期：2002-1-23

分 析 员：苏奋振、骆剑承、宋平舰

需求目的和要求
1. 完成从遥感影像到海表面温度场(SST)的过程。利用计算机分析 SST 尚未想过。 2. 数据太零碎，凭主观划定海洋锋等，目前谈不上精确。若能定量处理将很理想。 3. 温度预报，需要插值处理。 4. 动态分析目前很少，希望有。 5. 根据船测数据(多要素)确定边界。 6. 从 CTD 资料中提取标准层次数据。 7. 对现象的捕捉(主要通过海洋遥感获取要素场信息)→分析→机理→预测(预报)。对于分析这一步，目前主观成分很大，而连续(时间)靠海洋专家通过专业知识和经验推估。 8. 即使是遥感提取过程，目前也不完善。 9. 需要对海洋现象的变化过程进行可视化。 10. 需要对海洋的资料来源管理，对其质量进行检查、评估。 11. 对海洋资料来说，有大量的资料未很好利用，存在仓库中。 12. 对水团边界的处理，需要注意其边界是模糊的，有窄有宽，不均匀，不同海区标准不一。希望能由主观变为客观。 13. 利用高度资料推估流幅太粗糙。 14. 其他算法可参考《水团分析》；《海洋资料分析方法》；青岛海洋大学出版社出版的《多元统计分析》。
所处理数据
1. 海洋调查资料。 2. 海洋高度计资料。 * 注：请提供以上数据的格式
所用工具　　　　* 注：请提供主要功能和在海洋中应用时的不足。
1. grapher 2. winsufer 3. Matalab
处理流程
* 注：流程图见附图，请根据实际运作流程对流程图进行完善修改，并尽快反馈给我们。
说明： 1. 以上需求分析是根据 2002 年 1 月 24 日与您共同讨论的结果而整理。 2. 请您完善以上“处理流程”，并尽快把结果反馈给我们。 3. 需求分析和处理流程请以书面材料的形式反馈给我们。

表 7-6　需求分析调查表示例 3

调查对象：国家海洋局第一海洋研究所（青岛）　　　　文件编号：

部　　门：水文室　　　　日　　期：2002-01-23 下午

分析员：苏奋振、骆剑承

需求目的和要求
1. 关心的是海洋过程研究，过去一般是平均场的概念。能够将平均两字去掉最好。消除平均两字，需要以遥感资料为主，实测资料为辅。 2. 实测资料比较零散，整理费劲，如何有效地整理，管理。 3. 需要好的绘图软件。特别是处理有无测线或布点不均时，等值线的绘制；以及边界处理问题。 4. 融合高度计资料。 5. 特征的提取有点难度，很多的不是很规范，流就很难了，黑潮夏天遥感的 SST 不行，可用高度计。 6. 需要将实测资料数据快速转变为平均场。 7. 需要检测场与场之间的变化。
所处理数据
1. 海洋调查资料。 2. 遥感要素场（目视解译用）。 * 注：请提供以上数据的格式。
所用工具
1. 平面断面的等值线及内插用 sufer。 2. 三维矢量图用 Matlab。 * 注：请提供主要功能和在海洋中应用时的不足。 1. 等值线的绘制没用手绘的好，调整很难。 2. 可视化方面，现有软件功能都弱。 3. 等值线的小拐点，无必要，如何在尺度上去掉。 4. 机绘有藕块现象，绘制没有手绘得好，调整很难。
处理流程
* 注：流程图见附图，请根据实际运作流程对流程图进行完善修改，并尽快反馈给我们。
说明： 1. 以上需求分析是根据 2002 年 1 月 23 日与您共同讨论的结果而整理。 2. 请您完善以上“处理流程”，并尽快把结果反馈给我们。 3. 需求分析和处理流程请以书面材料的形式反馈给我们。
建　　议
1. 需要了解海洋局信息中心的工作，避免重复。 2. 需要了解一下实用部门（航海，海军，渔业等；航保部-天津，总参部），他们有望成为特征提取软件的主要用户。 3. 需要了解日本黑潮的预测报。

1. 现行系统与系统需求调查

(1)对现有系统的业务人员进行以下方面的调查参见表 7-4、表 7-5、表 7-6：

- 业务范围；
- 业务工作流程；
- 对数据的要求(数据类型、精度、时间、使用频率)；
- 处理方法(公式等)；
- 输出数据及用途(供什么部门使用)；
- 输出数据的表达形式(图、表、文字等)

(2)现有数据的调查：

根据表 7-1,表 7-2 进行现有图形数据的调查。

根据表 7-3 进行现有统计数据的调查。

2. 现行系统业务流程分析

现有系统业务流程见图 7-5 所示。

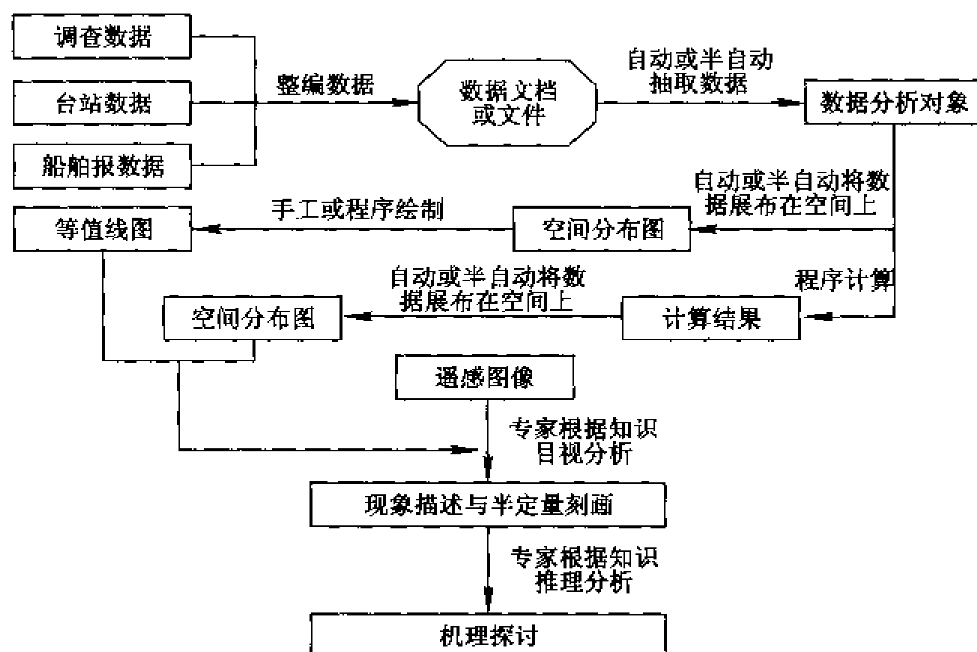


图 7-5　传统处理流程图

7.4　系统的需求分析

根据前面的调查和分析,传统的流程在新系统下,需要提高其定量客观性的同时,提高效率和自动化,由此新的流程图见图 7-6。新系统的功能需求和算法需求如下所述。

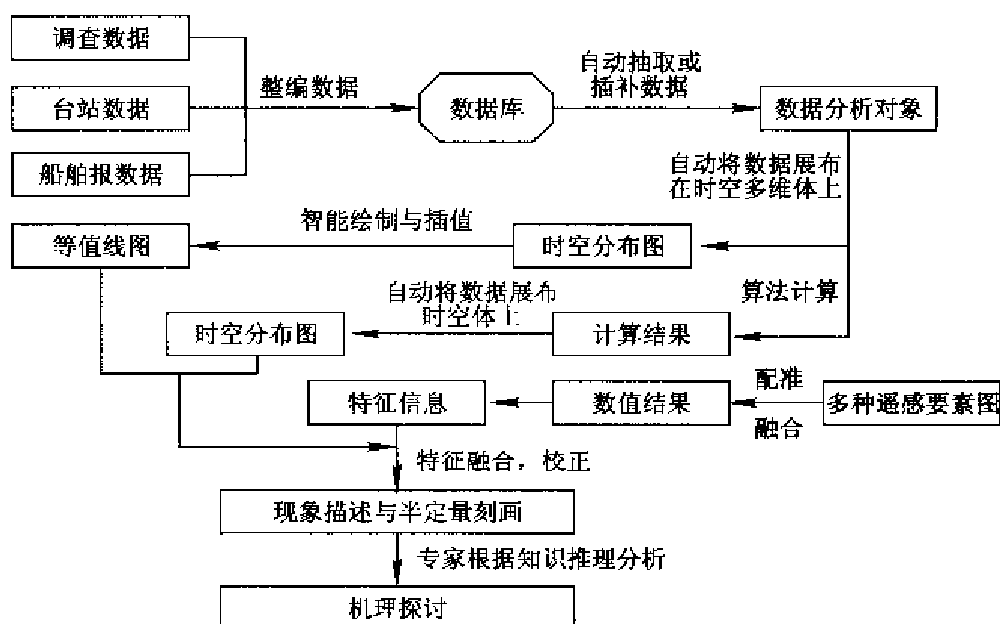


图 7-6　新系统处理流程图

7.4.1　功能需求

1)数据需求

(1)数据输入,包括海洋测量数据,遥感数据和基础地理数据。

(2)数据查询与提取,从零散的数据中抽取所需特定时间和空间范围的数据集。

(3)对缺失数据进行插补,并对数据的质量进行评估。

2)平面运算需求

(1)空间域需求:对栅格数据的基本运算与操作;绘制等值线;绘制要素场的剖线图;

(2)频率域需求:EOF 变换,傅里叶变换,小波分析;

(3)专业运算需求:温锋,涡旋,水团的提取与划分。

3)多维显示与分析需求

(1)将海洋断面(深度方向)的测量显示出来;

(2)从断面上可选取剖面并显示要素值(点位与颜色)和等值线;

(3)显示切面的等值线和连续场。

4)模式集成需求

(1)将海洋动力模型与 GIS 集成,利用 GIS 可视化输入模型的初始场和边界数据,由 GIS 输出模型运算结果数据并按时间动态显示;

(2)有可能的话,寻找其他模型研究集成思路。

7.4.2　数据功能需求

(1)数据格式需求。常用的海洋分析数据有三类,遥感反演的数据、观测数据和模式计算结果。遥感反演数据多级多种。海洋现场观测方法比较多,比如台站、断面、船舶报和多波束等。在需求报告中当详细列出各类数据的格式需求。

(2)数据的读取与转换需求。不同应用需要以不同方式输入不同数据，反之，在数据的输出方式、格式上也有不同需求。为此，当在调查报告中详细描述。比如从数据库中(零散的)数据中抽取所需特定时间和空间范围的数据集。

(3)数据预处理需求。主要包括两方面需求，数据质量控制与评估，缺失数据的插补。根据用户的需要，进行算法的设计。比如海洋上需要利用周期规律进行缺失值的插补等。在用户需求调查书中当详细列出用户对数据预处理的需求，并与方法一一对应。

7.4.3 显示需求

(1)基本显示要求，包括颜色(目的在于更加有利于人眼的判读与分辨)和符号。

(2)利用直方图设定色标。

(3)对有时间标识的数据动态显示。

(4)可快速将空间位置平移或转换，比如通过若干对应点进行仿射变化。。

7.4.4 基本算法需求

1. 基本算子

(1)算术运算：+、-、*、/、取整、取反、取模、取余等。

(2)布尔运算：并 AND、或 OR、非 NOT、异或 XOR。

(3)关系运算：根据比较的结果返回 1(真)或 0(假)，若输入值有 Null，输出为 Null。

(4)位运算。

(5)集合运算：CAND、COR、CXOR。

(6)逻辑运算：DIFF、OVER、IN。

(7)累积运算。

(8)赋值运算。

2. 基本栅格运算

(1)局部运算：输出值只取决于输入栅格的同一位置单元值。主要包括：三角函数、指数函数和对数函数等；重分类；逻辑选择；空间选择；统计。

(2)焦点运算：确定邻域范围和焦点位置，设定权重，进而统计运算等。

(3)区域运算：输入的多区域，统计目标栅格中位于各区域中的单元的统计量。

(4)全局运算：统计全局单元，然后操作。

3. 等值线绘制

(1)普通方法(一次，二次……平滑)。

(2)智能方法(利用背景知识控制走向和平滑程度)，针对 graph 软件的藕状缺点。

4. 梯度计算

(1)四邻域梯度计算(输出结果是四方向各自梯度，最大梯度及方向)。

(2)八邻域梯度计算(输出结果是八方向各自梯度，最大梯度及方向)。

(3)按特定方向组合的梯度计算。

(4)时间序列梯度计算(与上一时刻方向相同的梯度，才是要计算的梯度)。

(5)概率梯度计算(时间或要素序列的梯度,在概率满足条件时认为是要计算的梯度)。

5. 分类处理

(1)监督分类。

(2)非监督分类。

(3)按直方图分类。

(4)粗集方法分类,优点··旦给定训练集,就确定了分类的精度。

(5)智能分类(按梯度边界、人机交互边界统计为依据等)。

6. 空间分析

(1)空间自相关(Geary,Moran)。

(2)相关分析。

(3)多元分析。

(4)结构分析(变异函数)。

(5)空间配制结构相关。

(6)多尺度分析(Multiscale Analysis)。

7.4.5 专业算法

1. 锋面提取

(1)梯度判别。

(2)模式识别(自动匹配)。

(3)人机交互(人为划定,统计差异性)。

2. 涡旋提取

(1)梯度判别。

(2)模式识别(自动匹配)。

(3)人机交互(人为划定,统计差异性)。

3. 水团划分

(1)梯度判别。

(2)模式识别(自动匹配)。

(3)模糊数学方法。

(4)人机交互(人为划定,统计差异性)。

4. 其他算法

(1)动力系统边界问题处理,即栅格系统中应有处理边界的算法或方式,原有的 hard break line 和 soft break line 尚不够。但增加什么算法或处理方式,目前没有研究参考,需要交流学习。

(2)栅格系统如何引人矩阵的众多算法? 哪些算法是必须的?

7.4.6 多维功能需求

(1)将海洋断面(深度方向)的测量显示出来。

(2)从断面上可选取剖面并显示要素值(点位与颜色)和等值线。

(3)显示切面的等值线和连续场。

(4)将地形与海水体部分显示出来。

7.4.7 模式集成需求

GIS在将地图与计算模型相连或链接其他平台的程序方面功能强大。比如陆地过程模型:地下水污染模型,气象模型,水土流失方程,表面水文模型;社会经济模型:模拟商业网点影响,模拟疾病和日用品的流行等。而在海洋方面仍然缺乏研究和理解,目前一般的做法是将传统的数值模型与GIS进行松散的集成。一般是利用GIS可视化输入模型的初始场和边界数据,由GIS输出模型运算结果数据并按时间动态显示。其中参数和数据在GIS与模型中的传递采用文件的方式。进而将一系列模型利用GIS联系为一个科学逻辑过程。

数值模型或遥感反演模型的智能"即插即用"的集成方式有强烈的需求。

第8章　数据存储模型设计

8.1　数据源与试验数据库

8.1.1　数据源

MaXplorer系统(Marine GIS Explorer)的设计目标是开发自主版权的中国海洋与海岸带GIS平台，目标是实现对海岸带与海洋数据的综合管理、处理与分析的功能。MaXplorer需要对多种复杂的时空数据进行管理、处理与分析(如图8-1所示)，其中主要包括四大类、八种主要数据(各种数据类型的详细说明如表8-1所示)。

(1)背景类型：包括各种点实测数据、辅助边界数据和等值线数据；

(2)栅格数据：主要包括海岸带遥感影像数据和地形数据；

(3)场数据：包括由遥感数据反演或实测数据插值得到的海洋要素场数据；

(4)特征数据：在海洋要素场基础上得到的特征数据。



图8-1　数据源示意图

表8-1 数据源列表

数据源	数据类型	文件格式	作　用	数据描述
1. 边界线	矢量数据(点、线、面)	通用GIS格式(如ARCINFO SHP)	叠加辅助显示	(1)海岸线 (2)岛屿边界 (3)行政边界 (4)海区边界
2. 海洋实测点过程数据	点集合数据	表格数据格式(DBF格式)	管理、处理、分析、显示	(1)船只实测 (2)浮标 (3)断面数据 (4)台站数据
3. 地形数据	栅格数据	通用GIS格式(GRID)	叠加辅助显示	(1)海岸带地形数据 (2)海底地形数据
4. 海岸带遥感影像数据	栅格数据	通用遥感图像数据格式(TIF、BSQ、IMG和BMP)	辅助显示	(1)TM数据 (2)SPOT数据 (3)中国资源卫星数据 (4)AVHRR影像数据
5. 标量场数据	栅格数据	通用栅格格式或专门数据格式(HDF)	管理、处理、分析与显示	(1)SST场 (2)盐度场 (3)高度场等
6. 矢量场数据	栅格数据	专门数据格式(HDF)	管理、处理、分析与显示	如风场
7. 等值线数据	矢量数据	通用矢量数据格式(SHP)	管理、分析、显示与操作	(1)等温线 (2)等高线 (3)等深线等
8. 特征数据	特征场数据	专门数据格式(自定义)	管理、分析、显示与操作	如水团、锋面、流、黑潮等

MaXplorer系统数据之间流程如图8-2所示。

8.1.2 试验数据库的组织

1. 试验区域

设想试验区域以东海海岸带为主，视研究需要，可处理全球数据。部分试验数据可以仅涉及上述试验区域的部分地域。

2. 试验数据

1)点过程实测数据

船只实测数据：DBF格式。

断面数据：DBF格式。

2)边界数据

海岸线和岛屿边界：采用SHP格式。

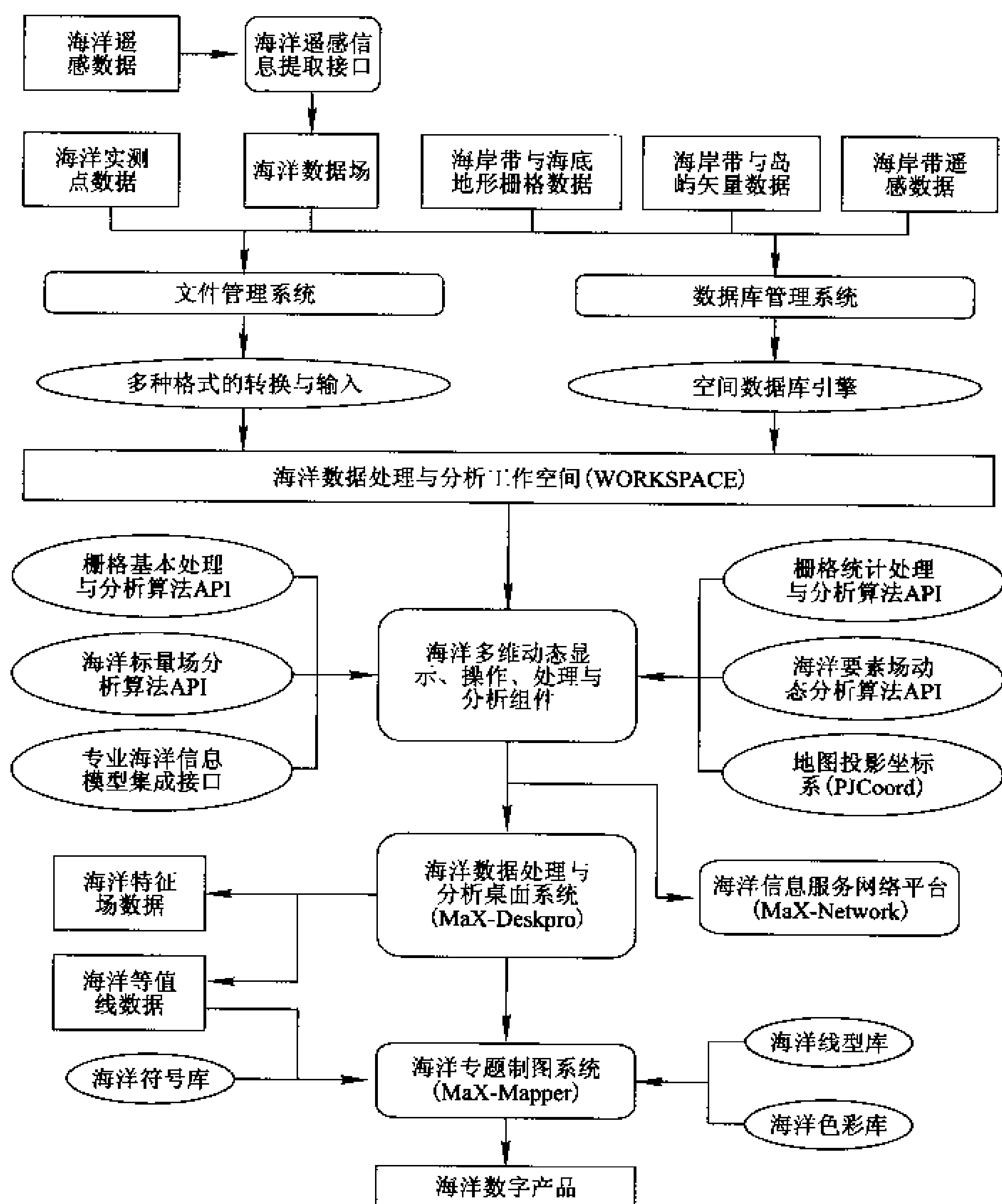


图 8－2　MaXplorer 数据流程图

行政边界:采用 SHP 格式。

3)等值线数据

等温线数据:采用 SHP 格式。

等深线数据:采用 SHP 格式。

4)地形数据:采用 GRID 格式

5)海洋要素场数据

包括风场、高度场、温度场和盐度场等。开发的前期先对温度场数据(主要是 HDF 格式的数据)进行测试,在后续的开发过程中加入高度场、风场和盐度场等测试数据。

3. *原始数据转换为试验数据的说明*

(1)若原始数据是 Coverage,可通过 ArcGIS 8.1 的 arctoolbox 将其转换为测试用的 SHP 格式。

(2)若原始数据为 e00 格式,可通过 ArcGIS 8.1 的 arctoolbox 先将其转换为 coverage,然后再转换为可测试用的 SHP 格式。

(3)地形数据若为 DEM、coverage 或 Image,均需转化为 GRID 数据。可通过 ArcGIS 8.1 的 arctoolbox 进行转换。

(4)各测试数据必须在同一地理参考下。

4. *试验数据库*

点过程实测数据、边界数据、等值线数据、地形数据和海洋要素场数据 HDF SST 均以文件或数据库存储。其中的部分数据地理参考缺失,则利用控制点进行配准,并对其定义统一的投影方式。

8.1.3 数据存储模型

如何对各种不同格式的数据(图形数据,地理信息数据,专业数据等)进行有效的处理对于将 GIS 应用于海洋领域是一个需要认真解决的问题。从系统基本的功能需求上来看,这方面的任务主要包括两部分:

(1)数据存储模型。有效数据存储的逻辑组织及实现方式,这是我们能够通过计算机对空间问题进行表述和分析的基本数据保证。

(2)数据处理模型。使用适当的方法将问题所涉及空间中各种实体的属性及关系抽象化为多个不同抽象对象的表述方式。通过对象内部的属性和对象间的关系,一方面可以对原有的地理空间实体进行有效地描述,同时还可通过执行抽象描述方式中定义的各种方法实现对原有各种空间问题进行有效的分析。

设计组织方式时,需要考虑的影响因素主要有:多格式数据的集成方式、数据的存取效率(如存取速度,开发访问能力)、海量空间数据的压缩算法以及以上各种方法的适用性和实现的难度等等。通过对目前 GIS 技术在这方面的发展趋势以及一些已有的 GIS 应用系统和商用数据库进行分析,我们根据系统功能需求以及时间进度安排设计了两种类型的数据存储与组织结构,包括:

(1)基于文档的空间数据存储与组织方式;

(2)基于数据库的空间数据存储与组织方式。

系统数据存储分布如上图 8-3 所示。

8.2 文件存储模型设计

在基于 GIS 的专业应用系统中,基于文档的空间数据管理方式由于其在一定程度上的简单高效而被广泛采用。比较成功的例子有 ESRI 的 shapefile、coverage 和 Grids,以

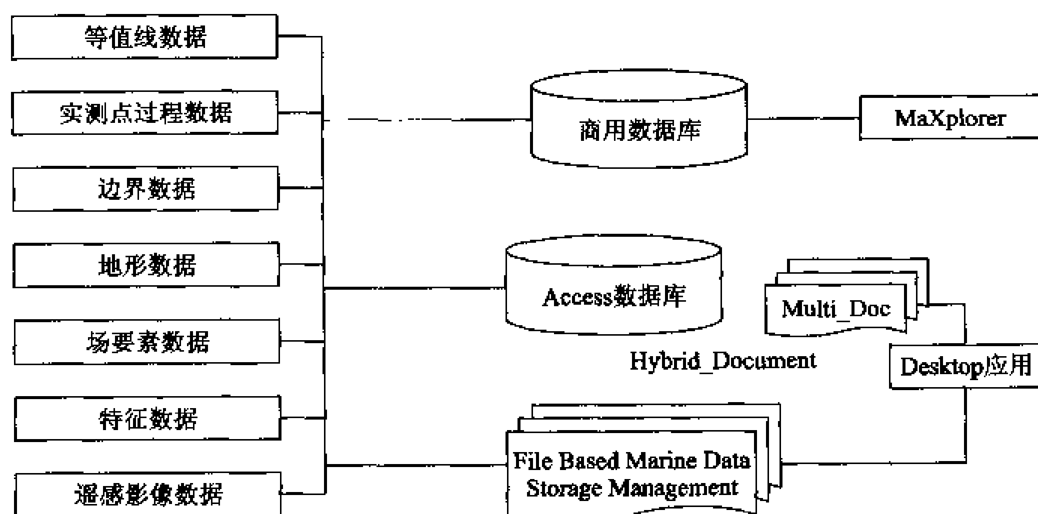


图 8－3　MaXplorer 数据存储分布图

及超图的 SDB 等等。在 MaXplorer 系统中，将分为两个步骤设计基于文档的空间数据存储管理系统。

第一步，实现基于层次目录文件方式的空间数据存储管理。系统的逻辑结构如图 8－4 所示。

这一步的主要工作是依据海洋空间数据的类别、内容等特性按照一定的层次存储在不同的目录中，实现对不同数据的统一管理。同时，提供相应的文件操作接口，为上层应用提供统一和规范的数据读、写以及转换的标准。

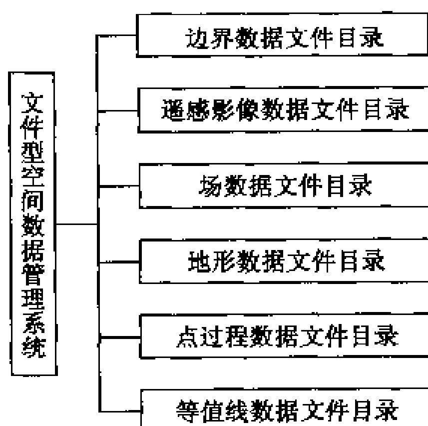


图 8－4　文件型存储逻辑结构图

文件存储系统以根目录的方式存储在磁盘中，其下包含了系统所有的空间数据文件，包含六个下级目录，分别是：边界数据文件目录、遥感影像文件目录、海洋场要素数据文件目录、地形数据文件目录、点过程实测数据文件目录以及等值线数据文件目录。

8.2.1　边界数据文件目录

此目录中主要包含一些需要以矢量方式记录的数据文件，比如海岸线、各种边界等等。文件格式统一采用 ESRI 的 SHPFile 或 Coverage 标准格式，原始数据为非 SHPFile 或 Coverage 格式的需进行格式转换。

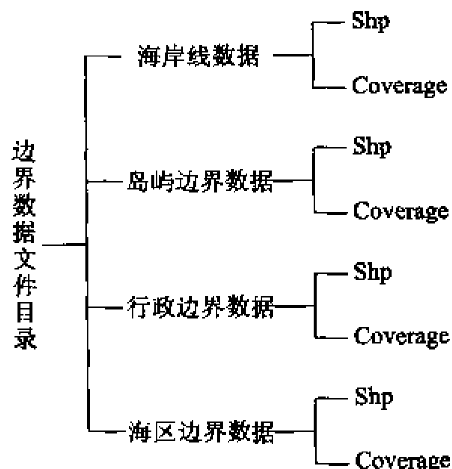


图 8－5　边界文件目录结构

目录的基本结构如图 8－5 所示。

具体内容：

每一个 SHP 格式的数据文件包含如下三部分：

XXX. shp——保存实际顶点的信息。

XXX. shx——保存指向 . shp 文件中相应结构的索引数据。

XXX. dbf——以 dBase 格式保存相应的属性信息。

1. 海岸线数据

文件命名方式:Costal _ XXXX。

SHP 类型:Polyline。

属性数据库表字段格式如表 8 - 2。

表 8 - 2 岸线属性字段

字段名称	数据类型
FID	Object ID
Shape	Geometry
FNODE	Long Integer
TNODE	Long Integer
LPOLY _	Long Integer
RPOLY _	Long Integer
LENGTH	Double
COASTIL _	Long Integer
COASTIL _ ID	Long Integer

2. 岛屿边界数据

文件命名方式:Island _ XXXX。

SHP 类型:Polygon。

属性数据库表字段格式如表 8 - 3。

表 8 - 3 岛屿边界属性字段

字段名称	数据类型
FID	Object ID
Shape	Geometry
AREA	Double
PERIMETER	Double
ISLAND	Long Integer
ISLAND _ ID	Long Integer

3. 行政边界数据

文件命名方式:District _ XXXX。

SHP 类型:Polyline。

属性数据库表字段格式如表 8 - 4。

表 8-4 行政边界属性字段

字段名称	数据类型
FID	Object ID
Shape	Geometry
FNODE	Long Integer
TNODE	Long Integer
LPOLY_	Long Integer
RPOLY_	Long Integer
LENGTH	Double
DISTRICT_	Long Integer
DISTRICT_ID	Long Integer

4. 海区边界数据

文件命名方式:Zone_XXXX。

SHP 类型:Polyline。

属性数据库表字段格式如表 8-5。

表 8-5 海区边界属性字段

字段名称	数据类型
FID	Object ID
Shape	Geometry
FNODE	Long Integer
TNODE	Long Integer
LPOLY_	Long Integer
RPOLY_	Long Integer
LENGTH	Double
ZONE_	Long Integer
ZONE_ID	Long Integer

8.2.2 遥感影像数据文件目录

此目录用于保存相关的遥感影像数据。它分为如下几个层次。首先,根据影像数据所涉及的区域是海岸带还是近海将数据分为海岸带遥感影像数据和海洋遥感影像数据两个相应的目录;其次,由于目前需要处理的主要有两类遥感影像文件:针对海岸带的资源卫星影像(包括 TM、SPOT 以及国内资源卫星影像)和针对海洋的卫星影像(包括 NOAA/AVHRR 卫星影像、MODIS、SeaWifs 和 SAR 等),因此在上述两个目录下,针对这两类图像分别建立对应的目录。

目录逻辑层次结构如图 8-6。

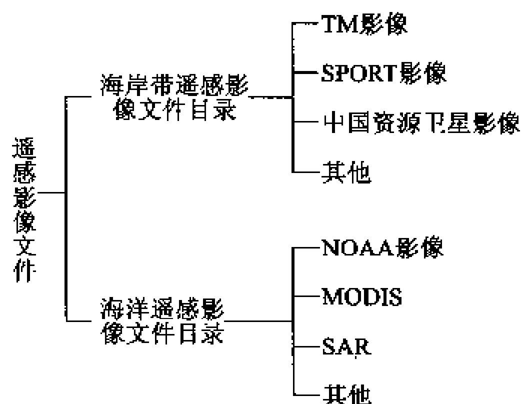


图 8-6 遥感影像文件结构

8.2.3 海洋要素场数据文件目录

此目录下主要保存通过遥感反演得到的海洋要素场数据，包括温度场、盐度场、高度场和风场等数据。目录的逻辑层次结构如图 8－7。

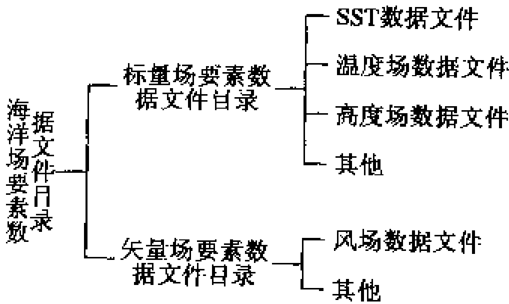


图 8－7　要素场文件结构

1)标量场要素数据文件目录

此目录中包含的数据主要有三种类型，温度场(SST)数据、盐度场数据和高度场数据。

(1)温度场数据：温度场数据的主要是通过卫星数据反演得到的 SST 数据。目前，可获得的 SST 数据主要有以下几种，分别是：Pathfinder SST 数据、SST Climatology 产品、通过 MODIS 得到的 SST 数据、通过 NAVOCEANO 获得的 MCSST 数据、通过 ASTR 获得的数据、通过 NCEP Reynolds 获得的数据以及 Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST)数据。

(2)盐度场数据：盐度场数据主要是通过船只和台站的实测数据得到。

(3)高度场数据：目前可获得的海洋高度场数据的类型有 TOPEX/POSEIDON 海平面不规则数据和 ERS-1 高度计数据。

2)矢量场要素数据文件目录

(1)风场数据：目前可获得的海洋风场数据有以下几类：通过 QuikSCAT 卫星获得的风数据和通过 NSCAT 雷达获得的风数据。

(2)流场数据：目前较常见的是模式反演的数据和大面测量数据，也有利用地波雷达或航空航天卫星反演的数据，但较少。

8.2.4 地形数据文件目录

此目录保存与地形数据有关的数据文件。它分为如下两个目录，分别对应海岸带地形数据和海底地形数据。目录逻辑结构如图 8－8 所示。

所有的地形数据都被看成是一种等深线，并以 Shpfile 格式进行存储。

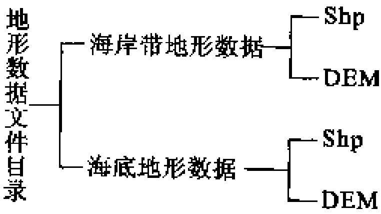


图 8－8　地形文件结构

8.2.5 点过程数据文件目录

此目录保存船只实测数据、台站实测数据以及断面数据等点过程实测数据文件，目录的逻辑层次结构如图 8－9所示。

这部分数据基本是以 Access MDB 数据库表的方式进行存储，数据库表字段定义如表 8－6、表 8－7、表 8－8 所示。

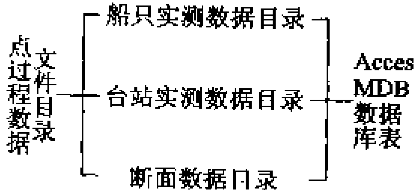


图 8－9　点过程文件结构

表 8-6 船只实测数据字段定义

表格	字段名称	数据类型	数据宽度	小数位	极值	说明
船舶实测数据	日期	SMALLDATE	4			
	时间	SMALLINT	2			
	纬度	FLOAT	8			度(°)
	经度	FLOAT	8			度(°)
	水温	FLOAT	8			摄氏度(℃)
	气温	FLOAT	8			

表 8-7 台站实测数据字段定义

表格	字段名称	数据类型	数据宽度	小数位	极值	说明
台站实测数据	站名	CHAR	15			
	日期	SMALLDATE	4			
	水温	FLOAT	8	1		摄氏度(℃)
	盐度	FLOAT	8	1		
	气温	FLOAT	8	1		摄氏度(℃)
	气压	FLOAT	8	1		帕(Pa)
	风向	CHAR	10			
	风速	FLOAT	8	1		米/秒(m/s)
	降水	FLOAT	8			毫米(mm)

表 8-8 断面数据字段定义

表格	字段名称	数据类型	数据宽度	小数位	极值	说明
断面数据	机构	CHAR	25			
	墨卡托横坐标	FLOAT	8			
	墨卡托纵坐标	FLOAT	8			
	纬度	FLOAT	8			
	经度	FLOAT	8			
	日期	SMALLDATE	4			
	时间	CHAR	10			
	深度	FLOAT	8			
	温度 1	FLOAT	8			摄氏度(℃)
	盐度 1	FLOAT	8			
	……	FLOAT	8			
	……	FLOAT	8			
	实测水深	FLOAT	8			米(m)
	底温	FLOAT	8			
	底盐	FLOAT	8			

8.2.6 等值线数据文件目录

此目录包含与各种海洋要素值等值线有关的文件数据。目前，系统涉及的等值线数据主要有：等温线、等高线和等深线三种类型。数据以 SHPFile 格式按文件方式存储，目录的逻辑层次结构如图 8-10所示。

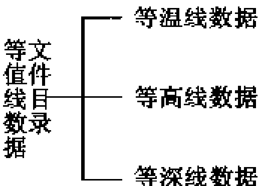


图 8-10 等值线文件结构

1. 等温线数据

此目录包含通过 SST 数据计算得到的温度场的等温线数据。

文件命名方式：SST _ ISOTHERM _ XXXX。

SHP 类型：Polyline。

属性数据库表字段格式如表 8-9 所示。

表 8-9 等温线属性字段

字段名称	数据类型
FID	Object ID
Shape	Geometry
FNODE	Long Integer
TNODE	Long Integer
LPOLY _	Long Integer
RPOLY _	Long Integer
LENGTH	Double
ISOLINE _	Long Integer
ISOLINE _ ID	Long Integer
ISOLINE	Double

2. 等高线数据

此目录包含通过 TOPEX/POSEIDON 数据计算得到的高度场的等高线数据。

文件命名方式：SST _ CONTOUR _ XXXX。

SHP 类型：Polyline。

属性数据库表字段格式如表 8-10 所示。

3. 等深线数据

此目录包含通过 TOPEX/POSEIDON 数据计算得到的高度场的等深线数据。

文件命名方式：SST _ ISOBATH _ XXXX。

SHP 类型：Polyline。

属性数据库表字段格式如表 8-11 所示。

表 8-10　等高线属性字段

字段名称	数据类型
FID	Object ID
Shape	Geometry
FNODE	Long Integer
TNODE	Long Integer
LPOLY _	Long Integer
RPOLY _	Long Integer
LENGTH	Double
ISOLINE _	Long Integer
ISOLINE _	IDLong Integer
ISOLINE	Double

表 8-11　等深线属性字段

字段名称	数据类型
FID	Object ID
Shape	Geometry
FNODE	Long Integer
TNODE	Long Integer
LPOLY _	Long Integer
RPOLY _	Long Integer
LENGTH	Double
ISOLINE _	Long Integer
ISOLINE _ ID	Long Integer
ISOLINE	Double

8.3　复合文档存储模型设计

在上一步的基础上，设计一种称为 MP _ Hybrid 的复合文档结构数据格式，实现通过复合文档结构对空间数据进行存储管理。

MP _ Hybrid 文档结构的基本设计思想是将 MaXplorer 系统涉及的各类型海洋空间数据统一按照其原有的二进制内容保存到一个 MP _ Hybrid 文档中，并在文档头部加入对文档包含数据内容的说明性信息。

采用 MP _ Hybrid 数据格式的存储结构主要有以下几点好处：

(1)有利于多源异构数据集的集成。

(2)有利于数据的安全与完整性保护。

8.3.1　MP _ Hybrid 的基本逻辑结构

MP _ Hybrid 数据格式包含两个部分，即说明性信息和数据信息。说明性信息部分

包含了复合文档的基本属性信息，比如文档的标识字节、长度说明、内容说明等等；数据信息部分以某种编码方式包含各种空间数据文件的二进制数据。MP _ Hybrid 数据格式存储逻辑结构设计如图 8 - 11 所示。

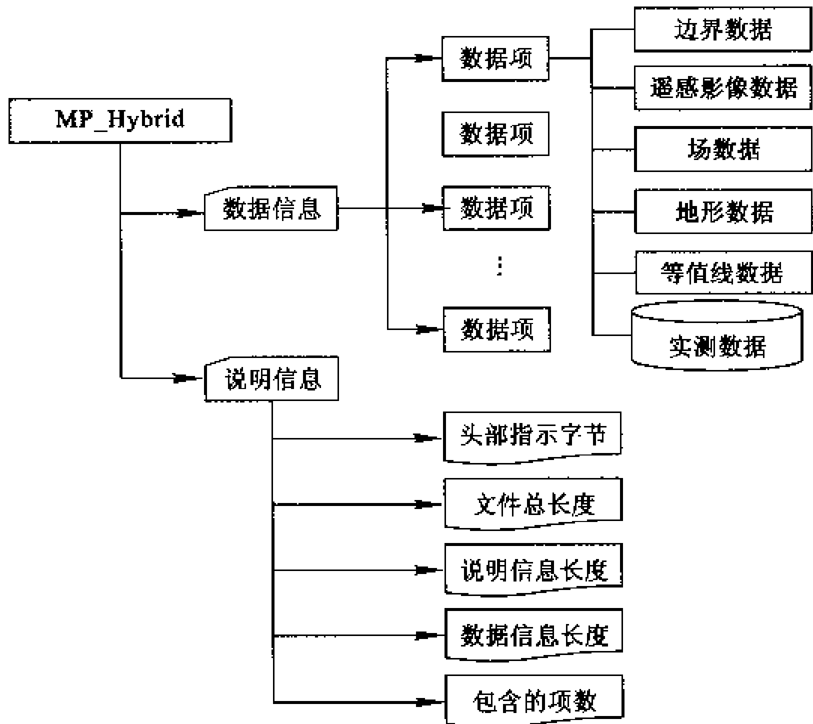


图 8 - 11　MP _ Hybrid 数据存储逻辑结构

8.3.2　MP _ Hybrid 的基本逻辑结构设计说明

1. 说明信息部分

说明信息部分包括五部分，分别是：头部标示字节、文件总长度、说明信息部分长度、数据信息部分长度和包含的数据项项数。

(1)头部标示字节。用于标示此文件为一个 MP _ Hybrid 文档，占用 10 个字节长度。目前定为：0x4D505F487962726964，与 MP _ Hybrid 的 ASCII 码对应。

(2)文件总长度。用于记录文件的二进制字节长度，占用 4 个字节，以二进制方式存储。因此，文件大小上限为 4 096 GB。

(3)说明信息部分长度。用于记录说明信息的二进制字节长度，占用 4 个字节，以二进制方式存储。

(4)数据信息部分长度。用于记录数据信息的二进制字节长度，占用 4 个字节，以二进制方式存储。

(5)包含的数据项项数。用于记录数据信息包含的数据项的项数，占用 4 个字节，以二进制方式存储。

2. 数据信息部分

数据信息部分用于存储各种海洋空间数据文件的数据，其中包含多个称为数据项的

基本单元，每一个数据项对应一种空间数据，比如：一个 Shpfile 文件、一个 TM 遥感影像文件或一个 Access MDB 数据库文件等等。我们为数据项设计了一套统一的编码方案——HMD(Hybrid Marine Data)。

3. 数据项信息编码方案设计

HMD 编码分为三个部分，标示(Tag)、长度(Length)和数值内容(Value)。

(1)标示部分：标示部分用于确定数据项中包含数据文件的类型，占用 1 个字节。

(2)长度部分：长度部分记录了数值内容部分的字节长度，它占用 4 个字节，并按照高位字节序存储(Big Endian)。

(3)数值内容部分：数值内容部分存储着相应海洋数据文件的二进制数据。

8.4 海洋数据库模型设计

基于文件与数据库混合的空间数据存储方式在一定程度上具有灵活、高效等优点，特别是在一些实时性强或简单的桌面应用等方面。但是，从目前 GIS 技术发展的趋势来看，利用关系数据库或者面向对象的关系数据库来实现空间数据的管理已经成为一种确定的发展潮流，尤其对于一些大型的应用，这更是一种必不可少的支持。因此，在实现基于文件方式的空间数据存储管理基础上，进一步的工作就是实现基于大型关系数据库对空间数据的存储管理。

从目前 GIS 技术研究与应用的情况来看，设计基于数据库方式的空间数据管理需要考虑的问题主要有：多源异构空间数据集成、海量空间数据环境下的空间索引技术、高分辨率影像压缩技术、矢量数据无损压缩与快速转换技术以及与 CAD 数据的融合等等。其中，多源异构空间数据的集成与空间索引设计是主要的问题，因为它们对基于关系数据库的空间数据存储体系架构的设计有着很大的影响，其解决的好坏将直接影响到整个系统空间数据存储体系的性能。

目前，从实际上解决基于关系数据库方式的空间数据管理的主要技术途径是针对各种商用关系数据库设计通用的空间数据库引擎。在这方面已有一些成功的先例，比如由 ESRI、Oracle 以及 MapInfo 等公司分别推出的 SDE、Oracle Spatial 以及 Spatial Ware 等空间数据库引擎。

根据上面所提到的，在空间数据库引擎设计方面，能够提供多源异构空间数据的有效访问能力(快速、灵活)是关键性问题，而且从目前 GIS 技术的发展趋势来看，能否实现无缝的多源异构空间数据处理是评价系统空间数据集成管理能力的重要标志。所谓无缝的多源异构空间数据处理主要是指：①多源数据格式无需转换而直接访问；②位置透明；③多源数据的混合分析。

基于以上考虑，我们将基于一种半透明的智能代理机制来设计系统的空间数据引擎架构。逻辑结构如图 8－12 所示。

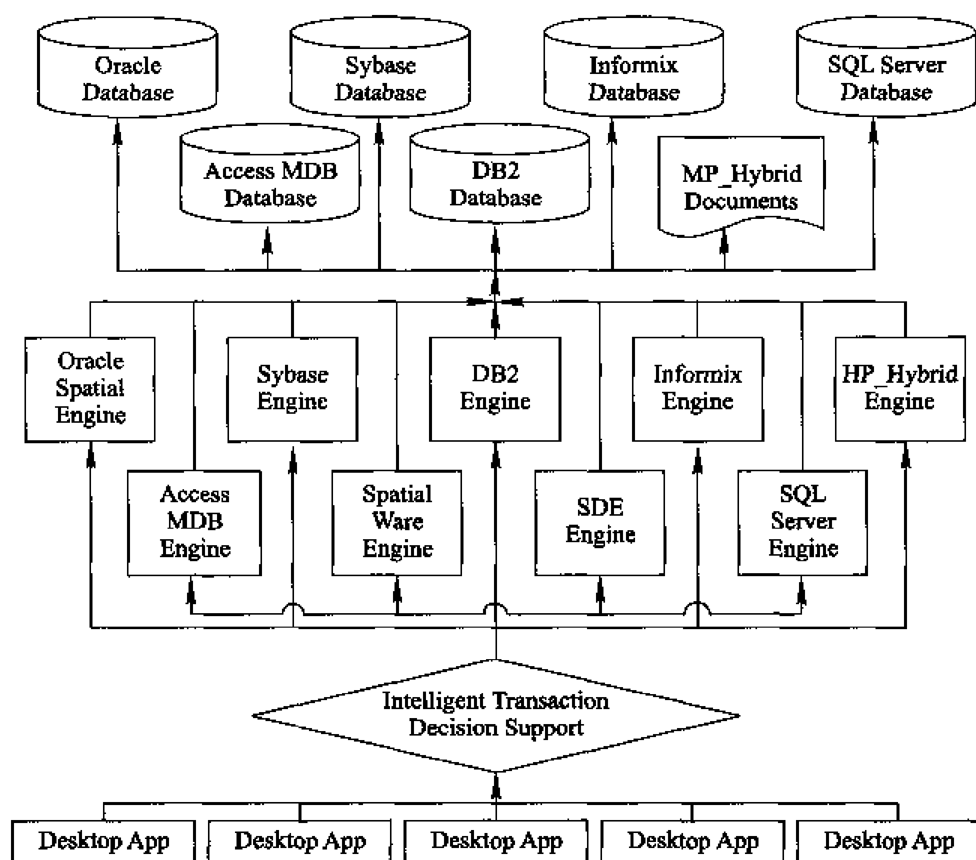


图 8-12 系统逻辑结构

由图 8-12 中可以看出，整个系统的逻辑结构可以分为三个部分。

(1)客户端部分。主要是包括桌面用户系统平台以及基于 Web 的客户端浏览器。

(2)智能事务决策支持代理与数据引擎部分。它可以进一步划分为两个子模块，即智能事务决策支持代理和多数据引擎。第一个模块的主要功能是通过专用的协议与客户端通信，通过收到的信息判断客户端空间数据请求的类型，并自动地选择合适的空间数据引擎予以处理。

(3)数据库部分。主要是各种商用的数据库，主要用于存储各种空间数据。

在具体的实施上，主要考虑如下两个方面：

首先，一些 GIS 厂商已经针对一些商用数据库开发了相应的空间数据库引擎，比如像 ESRI 的 SDE，MapInfo 的 Spatial Ware 等。可以先利用其提供的 SDK 中包含的 API 函数，根据我们应用的需要开发专门的 API 接口库，实现二次封装，将来再与后期独立设计的专用空间数据引擎进行集成。采用这种方式对于降低系统整体设计难度以及提高系统初期的开发速度都是非常有利的。

其次，通用的空间数据引擎设计所涉及的技术问题尽管十分复杂，但从提高系统技术含量以及软件系统自主版权的角度来考虑，还是有实际意义的。因此，在独立设计空间数据引擎方面，应针对海洋遥感应用数据的特点，有针对性地对专门的数据索引编码标准与算法等多个方面进行研究，以尽可能简单实用的方式予以实现。

8.5 海洋数据文件操作接口模块设计

提供数据文件操作接口的目的是为上层应用提供统一和规范的数据读、写以及转换的标准。由于系统可能涉及的海洋数据种类繁多，因此，目前只对其中一部分类型数据的操作接口进行了统一的封装。

8.5.1 接口逻辑结构

接口的基本逻辑结构可以分为四层，如图 8－13 所示。



图 8－13 数据文件操作接口逻辑结构

8.5.2 接口详细设计

1. 基本层

基本层(Basic Layer)模块的主要功能是为功能层模块提供对原始数据基本的读写功能，这些原始数据主要包括：Shpfile 文件、HDF 文件、各种格式的遥感影像文件以及数据库表等等。具体为 Shapfile API、Shapfile API、HDF API、RS IMAGE API、RDB API、MP _ Hybrid API，其数据结构与功能模块略。

2. 功能层

功能层(Function Layer)模块的主要功能是为应用层模块提供对系统数据基本的读、写、简单的转换以及处理等功能，这些系统数据主要包括：边界数据文件、基于 HDF 格式的场数据文件、专题遥感影像文件、地形数据文件、等值线数据文件、DEM 数据文件以及各种过程数据文件等等。具体 API 模块的数据结构和功能模块略。

3. 应用层

应用层(Application Layer)模块的主要功能是将由功能层模块处理得到的结果通过一定的封装形成更加抽象的数据对象，并使之与应用层的数据模型定义相对应。

第 9 章　数据模型与数据结构设计

9.1　主要对象模型

9.1.1　数据管理、访问、处理与分析对象

1. 数据管理对象

• MaWorkspace：工作空间控件。包含了一定范围的地理空间，保存当前用户工作环境，包括当前打开的数据源的描述、数据来源、地图投影、数据质量、数据精度、分辨率、比例尺、地图显示属性以及辅助工具库等；

• MaLayout：海洋制图布局控件；

• MaProjection：地图投影对象，用来存放各种地图投影参数；

• MaLegend：图例对象。

2. 数据访问对象

• MaDataConnection：数据连接对象（包括文件系统和数据库系统），由各种类型的数据集组成的复合数据集；

• MaDatasets：复合数据集对象；

• MaDataset：数据集对象，由同种类型的数据组成的数据集合，它继承于矢量、点集、遥感图像、场和特征等数据类型对象；

• MaVector：矢量数据对象；

• MaRecordset：矢量数据记录对象；

• MaShipPoints：海洋观测点集数据对象；

• MaRSImage：遥感图像数据对象；

• MaDEM：地形数据（海岸带地形与海底地形）对象；

• MaSeaFields：多层海洋要素场数据对象；

• MaFeatures：海洋特征集对象；

• MaSeaField：单层海洋数据场对象；

• MaRaster：栅格对象；

• MaFeature：特征对象；

• MaLineFeature：线型特征对象，如流、潮、锋等；

- MaRegionFeature：面状特征对象，如水团、涡流等特征；
- MaHistogram：栅格直方图对象。

3. 数据处理与分析对象

- MaPointsAnlyst：对观测点数据集进行处理与分析的对象；
- MaImageWorks：对遥感图像进行处理与分析的对象；
- MaRasterAnlyst：对栅格数据进行处理与分析的对象；
- MaFieldAnlyst：对海洋场数据进行处理与特征分析的对象。

4. 几何对象

- MaGeometry：空间几何对象；
- MaLine：线几何对象；
- MaRegion：面几何对象；
- MaText：文本对象；
- MaRect：矩形对象；
- MaPoints：点集合对象；
- MaPoint：点对象；
- MaEllipse：椭圆对象。

9.1.2 海洋数据表达对象

- MaView：数据多维动态显示与操作控件，可以使多种数据根据显示参数同时显示在一个窗口内；
- MaSurfaceView：面状显示对象；
- Ma3DView：三维显示对象；
- MaStatisticalGraph：统计图显示对象；
- MaDynamicalSurfaceView：动态面状显示对象；
- MaDynamical3DView：动态三维显示对象；
- MaLayers：多图层对象；
- MaLayer：一个图层对象，添加到地图中的数据集被赋予了显示属性；
- MaRasterLayer：栅格图层；
- MaVectorLayer：矢量图层；
- Ma3DLayer：三维显示图层；
- MaSelection：选择对象。

9.2 对象关系

9.2.1 MaXplorer 数据管理、访问与处理分析对象结构

MaXplorer 数据管理与分析对象如图 9-1。

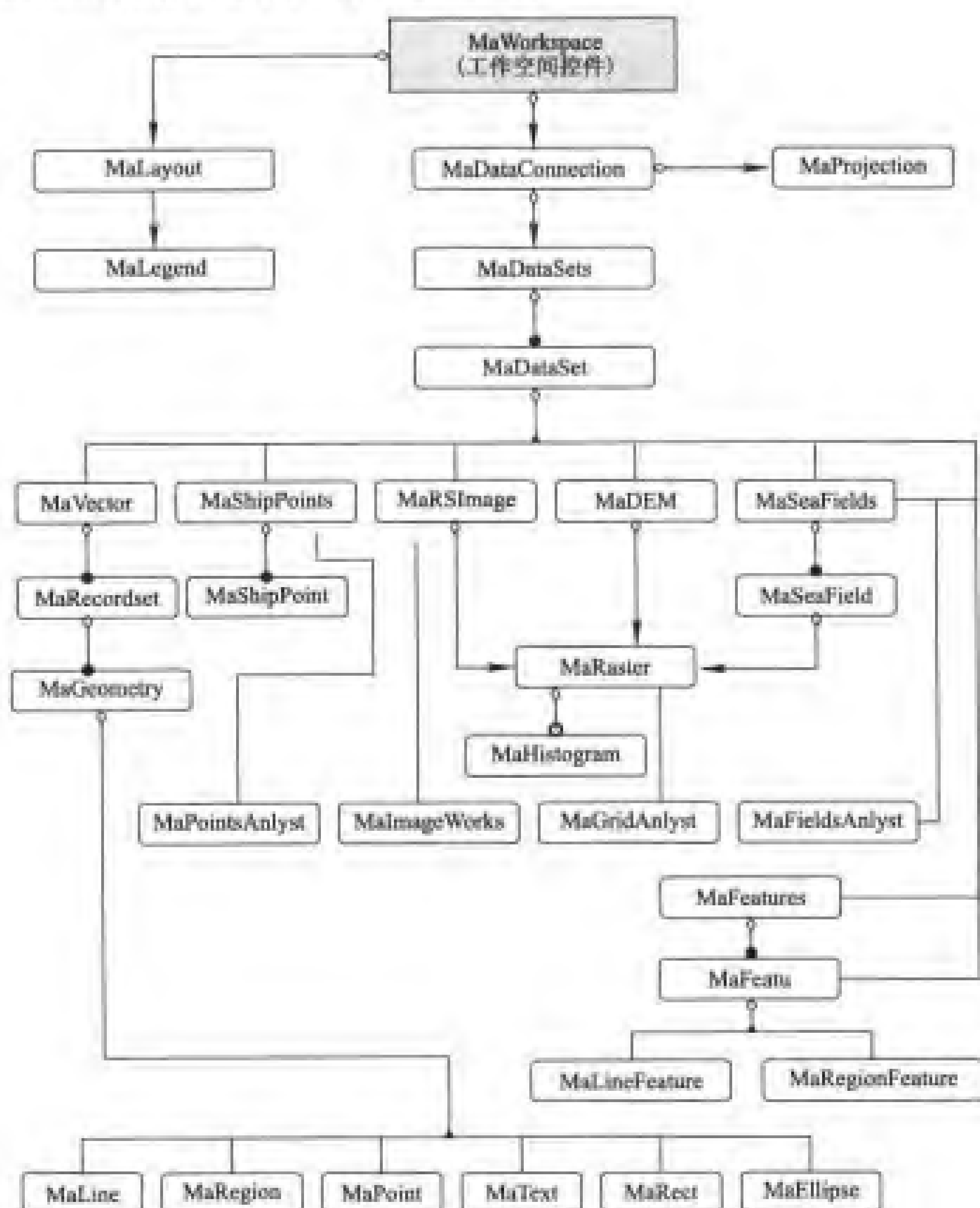


图 9-1　数据管理与分析对象

9.2.2 MaXplorer 海洋数据多维动态表达对象结构

MaXplorer 海洋数据多维动态对象如图 9-2。

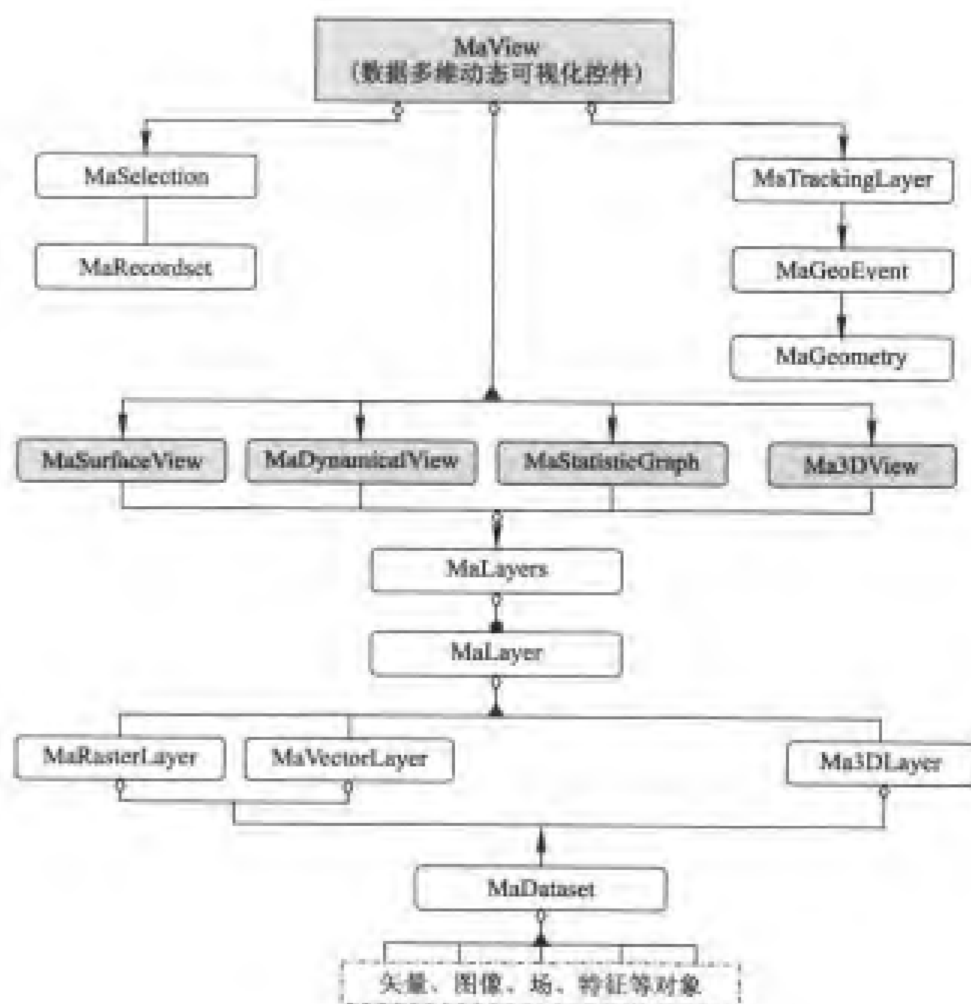


图 9-2　多维动态对象

9.3　主要对象数据结构描述

9.3.1　数据管理对象

1. 工作空间对象

```
class MaWorkspace
{
    public:  //基本属性:
        CString          strName;           //工作区名字;
        CString          strDescription;    //工作区描述;
        COleDateTime     dtDateCreated;     //首次建立时间;
        ...
        Double           y2;                //右上角 y 坐标;
```

```
        BOOL                bIsModified;        //是否被修改;
        IMaDataConnection * pDataConnection;    //数据源连接接口;
        IMaLayout *         pLayout;            //布局接口;
    public: //常用方法;
        BOOL    Open();                                     //打开工作空间;
        BOOL    Save();                                     //存储工作空间;
        BOOL    Create(CString strWorkspaceName);           //创建新工作空间;
        BOOL    SaveAs(CString strWorkspaceName);           //存储工作空间;
        VOID    Close();                                    //关闭工作空间;
        //创建数据源;
        IMaDataConnection * CreateDataConnection(strDataConnectionName);
        //打开数据源;
        IMaDataConnection * OpenDataConnection(strDataConnectionName);
        CString             GetWorkspaceName();//返回工作空间名字;
        BOOL                RegisterForRuntime( LPCTSTR strUser,
                                                LPCTSTR strCompany,
                                                LPCTSTR strSerialNo);
};
```

2. 布局对象

```
class MaLayout
{
    public: //基本属性;
        long                lLytAction;
        BOOL        bHasRuler;
        double              dViewScale;
        IMaSelection * pSelection;
        BOOL        bGridVisible;
        ...
    public: //常用方法;
        void            Refresh();
        void            Connect(LPDISPATCH objSuperWorkspace);
        void            PrintLayout();
        ......
};
```

3. 投影对象

```
class MaProjection
{
    public: //基本属性;
```

```
        long            lType;
        long            lProjection;
        long            lDistUnits;
        ......
    public:  //常用方法;
        BOOL  Forward(LPDISPATCH objValue);
        BOOL  Inverse(LPDISPATCH objValue);
        BOOL  ShowSettingDialog();
        ......
};
```

4. 图例对象

```
class MaLegend
{
    public:  //基本属性;
        longl               ReadyState;
        COleFont            oleFont;
        OLE_COLOR oleBackColor();
        OLE_COLOR oleForeColor();
        BOOL            bItemDragAndDrop;
        ...
    public:  //常用方法;
        BOOL  Clear();
        void      Refresh();
        BOOL  Connect(LPDISPATCH objSuperMapCtrl);
        void      Disconnect();
        void      Expand();
        ......
};
```

9.3.2 时空数据管理与数据处理数据结构

1. 数据源连接对象

```
class MaDataConnection
{
    public:  //基本属性;
        BOOL   bConnected;              //是否被连接;
        Long   lEngineType;             //数据库引擎类型;
        CString strDatabase;            //数据库名字;
        CString strServer;              //服务器名字;
```

```
        CString strUser;                  //用户名字;
        CString strPassword;              //密码;
        IMaDatasets *    pDataSets;       //数据集指针;
        IMaProjection *  pProjection;     //投影;
    public:  //基本方法;
        ......
        LPDISPATCH  FindDataset(LPCTSTR name);
        LPDISPATCH  AddDataset(LPCTSTR name,short shapeType);
        BOOL        DeleteDataset(LPCTSTR name);
        ......
};
```

2. 复合数据集对象

```
class MaDatasets
{
    public:  //基本属性;
        CArray<MaDataset,MaDataset> arrayDataset;
    public:  //基本方法;
        int          GetCount();
        void         SetCount(long lCount);
        IMaDataset *GetItem(const VARIANT& Index);
        void         SetRefItem(const VARIANT& Index,LPDISPATCH newValue);
        ......
};
```

3. 数据集对象

```
class MaDataset
{
    public:  //基本属性;
        LONG           ID;
        COleDateTime   dtDateCreated;
        COleDateTime   dtDateLastUpdated;
        BOOL           bCanUpdate;
        IMaRect *      pBounds;
        ...
    public:  //基本方法;
        virtual BOOL        ComputeBounds();
        virtual long        GetSmObject();
        virtual BOOL        Open();
        ......
};
```

4. 矢量数据集对象

```
class MaVector :public MaDataset
{
    public:  //基本属性;
        BOOL        bHasGeometry;
        long        lFieldCount;
        double      dToleranceSmallPolygon;
        ...
    public:  //虚函数实现;
        BOOL ComputeBounds();
        long  GetSmObject();
        BOOL Open();
        void  Close();
    //基本方法;
        BOOL  Export(LPCTSTR strFileName,long nFileType);
        BOOL  CreateFields(LPDISPATCH fieldinfos);
        BOOL  DeleteField(const VARIANT& Index);
        BOOL  SetToleranceToDefault();
        BOOL  EmptyTolerance();
        ......
};
```

5. 记录对象

```
class MaRecordset
{
    public:  //基本属性;
    public:  //基本方法;
        void        MoveFirst();
        void        MoveNext();
        void        MovePrevious();
        LPDISPATCH CalculateStatistics(LPCTSTR fieldName);
        VARIANT GetFieldValue(const VARIANT& Index);
        BOOL        FindTextFirst(LPCTSTR strTextToFind);
        ......
};
```

6. 栅格数据集对象

```
// The structure of UBaseDataTypePtr;数据存放指针联合结构;
union UBaseDataTypePtr
```

```
{
        BYTE  * bByte;          //单字节;
        short     * nShort;       //短整数;
        LONG  * lLong;        //长整数;
        float      * fFloat;         //浮点数;
        double    * dDouble;     //双精度浮点数;
};
// The class of MaRaster;栅格类;
struct MaRaster
{
    public:  //基本属性;
        long                lCols;                //宽度;
        long                lRows;                //高度;
        BYTE          byType;          //类型;
        long                lPixelFormat;             //像元类型;
        doubl               edResolutionX;            //X 方向分辨率;
        ……
        IMaGridAnalyst *    pGridAnalyst;      //栅格数据处理与分析方法接口;
    public:  //基本方法;
        void  Init();
        void  Free();
        long  GetPixel(long nCol,long nRow);
        void  MakeHistogram();
        ……
};
```

7. 直方图对象

```
class MaHistogram
{
    public:  //基本属性;
        int       n;
        double *Histogram;
    public:  //基本方法;
        void   Init();
        void   Free();
        long   GetValue(long nLevel);
        void   SetValue(long nLevel,long nNewValue);
        ……
};
```

8. 观测点对象

```
class MaShipPoint
{
    public:  //基本属性;
        LONG            ID;
        COleDateTime    dtDateMeasured;         //测定时间;
        CString             strPositionName;        //测定地点名称;
        IMaPoint *          pPoint;                 //测定位置;
        Double          dDepthInterval;         //测定深度间隔;
        Int                 nDimension;             //数据维数;
        CArray<double,double> arrayObservingValue;
    public:  //基本方法;
        double  GetValue(double dDepth,int nDim);
        void   SetValue(double dDepth,int nDim);
        ......
}
```

9. 观测点集对象

```
class MaShipPoints :public MaDataset
{
    public:  //基本属性;
        LONG   ID;
        POINT    ptCentroid;        //内点;
        CArray<MaShipPoint,MaShipPoint> arrayPoints;
    public:  //基本方法;
        BOOL      ComputeBounds();
        long      GetSmObject();
        BOOL      Open();
        void      Close();
    //基本方法;
        BOOL      Export(LPCTSTR strFileName,long nFileType);
        BOOL      Add(MaShipPoint pntNewPoint);//增加新的点;
        long      Remove(long From,long Count);//删除一个点;
        BOOL      InsertAt(long Index,LPDISPATCH newItem);//插入新的点;
        BOOL      Exchange(long Index1,long Index2);//交换点;
        MaShipPoint GetItem(long Index);//返回其中一点;
        ......
}
```

10. 遥感影像数据集对象

```
struct SControlPointsInRaster //控制点结构;
{
        double dCoord1,dCoord2,dCoord3;
        LONG lCoord1,lCoord2,lCoord3;
};
class MaRSImage :public MaDataset//遥感图像类数据结构;
{
    public: //基本属性;
        LONG  ID;
        CString   strName;
        ......
        SControlPointsInRaster * sControls;
        CArray<MaRaster,MaRaster> arrayBands;
    public: //基本方法;
        BOOL  ComputeBounds();
        long   GetSmObject();
        BOOL  Open();
        void   Close();
    //基本方法;
        BOOL  Export(LPCTSTR strFileName,long nFileType);
        BOOL  Add(MaRaster pntNewPoint);//增加新的点;
        long   Remove(long From,long Count);//删除一个点;
        BOOL  InsertAt(long Index,LPDISPATCH newItem);//插入新的点;
        ......
};
```

11. DEM 数据集对象

```
class MaDEM :public MaDataset // The class of MaRaster
{
    public: //基本属性;
        LONG  ID;
        CString   strName;
        LONG  lRows;
        LONG  lCols;
        double   dCoord1,dCoord2,dDCoord1,dDCoord2;
        MaRaster DEM;
    public: //基本方法;
        BOOL  ComputeBounds();
        long   GetSmObject();
```

```
        BOOL   Open();
        void   Close();
    //基本方法;
        BOOL   Export(LPCTSTR strFileName,long nFileType);
        ……
};
```

12. 单层要素场对象

```
class MaSeaField
{
    public: //基本属性;
        LONG   ID;
        Double    dDepth;
        Double    dHeight;
        MaRaster  field;
    public: //基本方法;
        BOOL   Open();
        void   Close();
        ……
}
```

13. 多层要素场数据集对象

```
class MaSeaFields :public MaDataset
{
    public: //基本属性;
        LONG    ID;
        CString  strName;
        LONGl   Rows;
        LONGl   Cols;
        unsigned short nBands;
        double  dCoord1,dCoord2,dDCoord1,dDCoord2;
        CArray<MaSeaField,MaSeaField> arrayBands;
    public: //基本方法;
        BOOL   ComputeBounds();
        long    GetSmObject();
        BOOL   Open();
        void    Close();
    //基本方法;
        BOOL   Export(LPCTSTR strFileName,long nFileType);
        ……
}
```

14. 特征数据对象

```
class MaFeature
{
    public:  //基本属性;
        int         ID;             //特征唯一标识码;
        CString     strName;
        int         nDimension;     //特征的固有维数;
        BOOL        bEmpty;         //特征是否为空;
        BOOL        bSimple;        //特征是否为简单类型;
        BOOL        bHasBounds;     //特征是否有外接矩形;
        IMaRect *   pBounds;        //特征的外接矩形接口;
        Long        lPartCount;     //特征由几部分组成;
        Long        lType;          //特征的类型;
    public:  //基本方法;
        void    SetEmpty();  //清空对象;
        IMaFeature *   Copy();  //复制对象;
        BOOL  HitTest(LPDISPATCH pntHitTest,double dTolerance);//是否
              选择对象;
        BOOL  Offset(double xOffset,double yOffset);//偏移对象;
        BOOL  Equals(MaFeature anotherFeature);//判断与另一特征是否相等;
        BOOL  Disjoint(MaFeature anotherFeature);//判断与另一特征是否相离;
        ……
}
```

15. 线特征数据对象

```
class MaLineFeature :MaFeature
{
    public:  //基本属性;
        long   ID;
        BYTE byType;                //线类型;
        CArray<POINT,POINT> arrayVertex;
        CArray<double,double> arrayElevation;
        CRect rectBound;            //外接矩形;
    public:  //基本方法;
        double Length();      //线的长度;
        void    Offset(double deltaX,double deltaY);
        double DistanceTo(LPDISPATCH shape);
        ……
}
```

16. 面特征数据对象

```
class MaRegionFeature :MaFeature
{
    public: //基本属性;
        long ID;
        BYTE byType;                  //面类型;
        CArray<POINT,POINT> arrayVertex;
        CArray<double,double> arrayElevation;
        POINT ptCentroid;             //内点;
        CRect rectBound;              //外接矩形;
    public: //基本方法;
        Double Area();
        double GetPerimeter();
        LPDISPATCH GetCentroid();
        BOOL   IsPointIn(LPDISPATCH Point);
        void   Offset(double deltaX,double deltaY);
        double DistanceTo(LPDISPATCH shape);
        LPDISPATCH GetCrossings(LPDISPATCH shape);
        ......
}
```

17. 特征集对象

```
class MaFeatures :public MaDataset
{
    public: //基本属性;
        LONG   ID;
        double    dCoord1,dCoord2,dDCoord1,dDCoord2;
        CArray<MaFeature,MaFeature> arrayFeatures;
    public: //基本方法;
        BOOL   ComputeBounds();
        long   GetSmObject();
        BOOL   Open();
        void   Close();
    //基本方法;
        BOOL   Export(LPCTSTR strFileName,long nFileType);
        BOOL   Add(MaFeature pntNewPoint);//增加新的点;
        long   Remove(long From,long Count);//删除一个点;
        BOOL   InsertAt(long Index,LPDISPATCH newItem);//插入新的点;
        ......
}
```

9.3.3 数据处理与数据分析对象数据结构

1. 观测点数据处理与分析对象

```
class MaPointsAnlyst
{
    public:  //基本属性;
             //基本方法;
        Interpolation(IMaShipPoints * pPoints,IMaSeaFields * pFields);
        ......
}
```

2. 遥感图像处理与分析对象

```
class MaPointsAnlyst
{
    public:  //基本属性;
             //基本方法;
}
```

3. 栅格数据处理与分析对象

```
class MaPointsAnlyst
{
    public:  //基本属性;
             //基本方法;
}
```

4. 海洋场数据处理与分析对象

```
class MaPointsAnlyst
{
    public:  //基本属性;
             //基本方法;
......
}
```

9.3.4 几何类(Geometry)数据结构

1. 几何类

```
class MaGeometry
{
    public:  //基本属性;
        int        ID;           //几何对象唯一标识码;
        int        nDimension;   //几何对象的固有维数;
```

```
    ……
    Long        lPartCount;   //几何对象由几部分组成;
    Long        lType;        //几何对象的类型;
    public: //基本方法;
    //几何对象的一般方法;
    void  SetEmpty();//清空对象;
    IMaGeometry *  Copy();//复制对象;
    BOOL  HitTest(LPDISPATCH pntHitTest,double dTolerance);//是否
          选择对象;
    BOOL  Offset(double xOffset,double yOffset);//偏移对象;
    //几何对象之间空间关系方法
    BOOL  Equals(MaGeometry anotherGeometry);//判断与另一几何对象
          是否相等;
    BOOL  Disjoint(MaGeometry anotherGeometry);//判断与另一几何对象
          是否相离;
    ……
    //空间分析部分方法
    double  Distance(MaGeometry anotherGeometry);//返回与另一对象的
          距离;
    IMaGeometry *  Buffer(MaGeometry anotherGeometry);//缓冲区;
    IMaGeometry *  Intersection(MaGeometry anotherGeometry);//交集;
    IMaGeometry *  Union(MaGeometry anotherGeometry);//并集;
    ……
};
```

2. 点类

```
class MaPoint :public MaGeometry
{
  public: //基本属性;
  public: //基本方法;
    void Offset(double xOffset,double yOffset);//偏移;
    double DistanceTo(MaGeometry * shape);
    double DistanceToSegment(MaPoint * point1,MaPoint * point2);
    MaGeometry * GetCrossings(MaGeometry * shape);
    ……
};
class Ma3DPoint
{
  public: //基本属性
```

```
        double X;
        double Y;
        double Z;
};
```

3. 点集类

```
class MaPoints :public MaGeometry
{
    public:  //基本属性;
        long ID;
        BYTE byType;                //线类型;
        CArray<POINT,POINT> arrayVertex;
        CArray<double,double> arrayElevation;
        CRect rectBound;            //外接矩形;
    public:  //基本方法;
        BOOL   Add(POINT pntNewPoint);//增加新的点;
        long   Remove(long From,long Count);//删除一个点;
        BOOL   InsertAt(long Index,LPDISPATCH newItem);//插入新的点;
        BOOL   Exchange(long Index1,long Index2);//交换点;
        POINT  GetItem(long Index);//返回其中一点;
        void   SetRefItem(long Index,LPDISPATCH newValue);//重新值新
               的值;
        void   RemoveAll();//清除所有的点;
        BOOL   Add(double x,double y);
        ......
};
class Ma3DPoints
{
    public:  //property
        long count;
    public:  //method
        VARIANT _ BOOL Add(IMa3DPoint * newItem);
        long Remove(long From,long Count);
        VARIANT _ BOOL InsertAt(long Index,IMa3DPoint * newItem);
        VARIANT _ BOOL Exchange(long Index1,long Index2);
        IMa3DPoint * Item(long Index);
        void RemoveAll();
}
```

4. 线类

```
class MaLine :public MaGeometry
```

```
{
    public: //基本属性;
        long ID;
        BYTE byType;                //线类型;
        CArray<POINT,POINT> arrayVertex;
        CArray<double,double> arrayElevation;
        CRect rectBound;            //外接矩形;
    public: //基本方法;
        double Length(); //线的长度;
        void   Offset(double deltaX,double deltaY);
        double DistanceTo(LPDISPATCH shape);
        ......
};
```

5. 面类

```
class MaRegion :public MaGeometry
{
    public: //基本属性;
        long ID;
        BYTE byType;                //面类型;
        CArray<POINT,POINT> arrayVertex;
        CArray<double,double> arrayElevation;
        POINT ptCentroid;           //内点;
        CRect rectBound;            //外接矩形;
    public: //基本方法;
        Double  Area();
        double  GetPerimeter();
        LPDISPATCH GetCentroid();
        BOOL   IsPointIn(LPDISPATCH Point);
        void     Offset(double deltaX,double deltaY);
        double   DistanceTo(LPDISPATCH shape);
        LPDISPATCH GetCrossings(LPDISPATCH shape);
        ......
};
```

6. 文本类

```
class MaText :public MaGeometry
{
    public: //基本属性;
        long      ID;
```

```
        POINT    ptPosition;
        CString  csContent;
        BYTE     byAlinment;        //文本对齐方式;
        Doubl    edVerticalSpace;   //行距
        CString  csFaceName;        //文本字体;
        ……
    public:  //基本方法;
        ……
};
```

7. 矩形类

```
class MaRect :public MaGeometry
{
    public:  //基本属性;
        double dLeft;
        double dRight;
        double dTop;
        double dBottom;
    public:  //基本方法;
        double Width();
        double Height();
        IMaPoint * CenterPoint();
        IMaPoint * TopLeft();
        IMaPoint * BottomRight();
        BOOL IsPointIn(LPDISPATCH Point);
        void Offset(double deltaX,double deltaY);
        ……
};
```

8. 椭圆类

```
class MaEllipse :public MaGeometry
{
    public:  //基本属性;
        ……
    public:  //基本方法;
        ……
};
```

9.3.5 可视化控件数据结构

1. 数据多维动态显示控件

```
class MaView :public CWnd
{
    public://基本属性
        IMaLayers *    pLayers;             //图层集
        IMaRectangle *    pExtent;             //设置显示范围,用于缩放
        IMaRectangle *    pFullExtent;          //
        OLE_COLOR         oleBackColor;
        Short    sBorderStyle;
        long       lCancelAction;
        ImaTrackingLayer *    pTrackingLayer;//动态图层
        long       lResreshCount;
        BOOL    bEnabled;
        OLE_HANDLE    oleHWnd;          //窗口句柄
        Short       sAppearance;
        ……
    public://常用的方法
        void    Pan();
        void    ViewEntire();
        OLE_XPOS_PIXELS    MapToPixelX(double x);
        ……
        IMaPoint *    ToMapPoint(float x,float y);//将点坐标从屏幕转换到地
                      图坐标
        void      FlashShape(LPDISPATCH shape,short nTimes);
        void      Refresh();
        void      DrawShape(LPDISPATCH shape,LPDISPATCH symbol);
        void        DrawText(BSTR text, LPDISPATCH shape, LPDISPATCH
                    symbol);
        IMaEllipse *    TrackCircle();
        IMaLine *    TrackLine();
        IMaRectangle *    TrackRectangle();
        IMaPolygon *    TrackPolygon();
        //将点的坐标从地图转换到屏幕坐标
        void    FromMapPoint(Point * Point,float * x,float * y);
        double    ToMapDistance(float distance);
        float      FromMapDistance(double distance);
```

```
    ……
    void    CenterAt(double x,double y);
    void   RefreshLayer(short index);//刷新某一图层
public:
    //以下为封装其他接口而添加的方法,在应用没有实际的意义,都为隐藏
    属性
    IMa3DLayer *         Wrapper3DLayer();
    IMa3DView *          Wrapper3DView();
    IMaDataConnection *     WrapperDataConnection();
    IMaDataSet *         WrapperDataSet();
    ……
    IMaText *            WrapperText();
    IMaTrackingLayer *  WrapperTrackingLayer();
    IMaVector *              WrapperVector();
    IMaWorkspace *      WrapperWorkspace();
    ……
};
```

2. 可视化控件中响应的事件接口

```
dispinterface _IMaViewEvents
{
   public:
   void MouseDown(short Button,short Shift,OLE_XPOS_PIXELS X,OLE_
       YPOS_PIXELS Y);
   void MouseUp(short Button,short Shift,OLE_XPOS_PIXELS X,OLE_
       YPOS_PIXELS Y);
   void MouseMove(short Button,short Shift,OLE_XPOS_PIXELS X,OLE_
       YPOS_PIXELS Y);
   void KeyDown(short KeyCode,short Shift);
   void  KeyPress(short KeyAscii);
   void  DrawingCanceled();
   void   AfterSetLayerVisible( short * Index,VARIANT_BOOL * isVisible);
   ……
};
```

3. 三维视图对象

```
class Ma3DView:public CWnd
{
   public://基本属性
       IMaLayer *      Layesr;
```

```
        OLE_COLOR  BackColor;
        ImaRaster *        OverlayTexture;    //纹理图像
        Short  Appearance;
        short    sLOD;                   //level of detail 显示细节
    Public: //基本方法
        void  Refresh();
        void  3DPan();
        void  Zoom(doubledRatio);
        void  MakeAvi(CString AviName);
        void  FlyByRoute(IMa3DPoints * pRoutePoints);
        void  PanRotate(long centerX,long centerY);    //旋转
        void  ExportImage(shortImageType, BSTRFileName, double scaleFac-
              tor);
        void  SetLight(IMa3Dpoint * Position ,LIGHTlight);    //设置光照
        void  SetLookAt(LOOKATlookat);    //设置视角
        void  SetFog(FOGfog,shortmode);              //设置雾气
        void  Init();
        ......
};
```

4. 表面显示对象

```
class MaSurfaceView:public MaView
{
    public: //基本属性
    public: //基本方法
        void Init();
        ......
};
```

5. 动态显示视图对象

```
class MaDynamicalView:public MaView
{
    public: //基本属性
        BOOL  AutoRepeat;
        short  Speed; //动态运行速度
    public: //基本方法
        void  Init();        //初始化视图
        void  MakeAvi(LPCTSTR AviFileName);//由动态显示结果制作 AVI 文件
        ......
};
```

6. 统计显示视图对象

```
class MaStatisticGraph:public MaView
{
    public:  //基本属性
        IMaHistogram *   pStatistics;//与视图相关联的统计特性
    public:  //基本方法
        void  Init();
        void  DrawAxis(short Mode);                    //画坐标轴
        void  DrawLegend(IMaHistogram  * Statistics,short Mode);  //画图例
        void  DrawGraph(IMaHistogram * Statistics,shortMode);  //画统计图
        ......
};
```

7. 选择集对象

```
class MaSelection
{
    public:  //基本属性
        short   sRecordCount;      //选择集中的记录总数
        IMaDataset *  pDataset;
    public:  //基本方法
        IMaRecordSet  *   GetRecordSet();//取得记录集
        long    GetItem(long nIndex);
        void    SetItem(long nIndex,long nNewValue);
        void    Add(long nGeometryID);
        BOOL FromRecordset(LPDISPATCH objRecordset);
        BOOL Remove(long nGeometryID);
        BOOL RemoveAt(long nIndex,long nCount);
        void    RemoveAll();
        BOOL CopyFrom(LPDISPATCH objOtherSelection);
......
}
```

9.3.6 图层对象数据结构

1. 图层集对象

```
class MaLayers
{
    public:  //基本属性
        LPUNKNOWN   NewEnum;
        short              Count;         //图层数
```

```
        CArray<MaLayer,MaLayer> arrayLayer;
    public: //基本方法
        LPDISPATCH Item(const VARIANT& index);
        void SetRefItem(const VARIANT& Index,LPDISPATCH newValue);
        //添加图层,Method 为添加的方式,如与、或等。
        BOOL        Add(LPDISPATCH  layer,short  Method);
        void        Remove(short index);//移去某个图层
        void        RemoveAll();
        //将某个图层移至指定的位置
        void            MoveTo(short fromIndex,short toIndex);
        void            MoveToTop(shortindex);
        void            MoveToBottom(short index);
        ......
        long        FindLayer(LPDISPATCH objLayer);
        BOOL        RemoveAt(const VARIANT& Index);
        ......
};
```

2. 图层对象

```
class MaLayer
{
    public: //基本属性
        IMaDataset *        pDataset;
        CString             strDescription;
        ......
    public: //基本方法
        LPDISPATCH  SearchExpression(LPCTSTR expression);
        BOOL             AddRelate (LPCTSTR toField,
                                   LPDISPATCH Table,
                                   LPCTSTR fromField);
        void            RemoveRelates();
        LPDISPATCH  SearchByDistance(LPDISPATCH shape,
                                         double  distance, LPCTSTR  ex-
                                         pression);
        LPDISPATCH  SearchShape(LPDISPATCH shape,
                                   short  searchMethod, LPCTSTR  ex-
                                   pression);
        BOOL          BuildIndex(BOOL force);
        ......
};
```

3. 栅格图层对象

```
class MaRasterLayer :MaLayer
{
    public: //基本属性
        CString         strName;
        Short           sLayerType;
        CString         strFilePathName;
        ......
    public: //基本方法
        LPDISPATCH  GetAreaOfInterest();
        LPDISPATCH  SearchByExpression(LPCTSTR expression);
        LPDISPATCH  ComputeStatistics();//取得统计特征值
        LPDISPATCH  SearchByFeatures(LPDISPATCH Features);
        BOOL        BuildIndex(BOOLforce);
        IMaSelection *    HitTest(double x,double y,double dTolerance);
    public://对图像的一些变换处理及叠合分析操作,根据图像处理算法添加
        ......
};
```

4. 矢量图层对象

```
class MaVectorLayer :MaLayer
{
    public: //基本属性
        CString         strName;
        Short           sLayerType;
        ......
    Public: //基本方法
        BOOL            AddRelate(LPCTSTR toField,
                                      LPDISPATCH   Table,   LPCTSTR
                                      fromField);
        void                RemoveRelates();
        LPDISPATCH  SearchByDistance(LPDISPATCH shape,
                    double distance,LPCTSTR expression);
        LPDISPATCH    SearchByExpression(LPCTSTR expression);
        ......
};
```

5. 三维图层对象

```
class Ma3DLayer
```

```
{
    public: //基本属性
        CString         strName;
        BOOL            bVisible;
        ……
        3DPROPERTY      property; //图层数据的属性
    public: //基本方法
        void    BuildIndexed(BOOL  force);
        ……
};
```

6. 动态图层对象

```
class MaTrackingLayer
{
    public: //基本属性
        shorts    EventCount;
        shorts    SymbolCount;
        BOOL  bVisible;
    Public: //基本方法
        LPDISPATCH  GetEvent(short index);
        void                RemoveEvent(short index);
        LPDISPATCH      AddEvent(double x,double y,sbort symbolIndex);
        ……
};
```

7. 动态目标对象

```
classMaGeoEvent
{
    public: //基本属性
        short           sSymbolIndex;
        double          X;
        double          Y;
        ImaGeometry *   pGeometry;
    public: //基本方法
        void  MoveTo(double x,double y);
        void  Move(double x,double y);
        ……
};
```

9.3.7 常用的构造数据类型

1. 基本形状类型

```
enum
{
    maShapeTypePoint = 0,
    maShapeTypeLine = 1,
    ......
} ShapeTypeConstants;
```

2. 字段类型

```
enum
{
    maNone = 0,
    maLong = 3,
    ......
    maPoints = 24
} FieldTypeConstants;
```

3. 符号类型

```
enum
{
    maPointSymbol = 0,
    maLineSymbol = 1,
    maFillSymbol = 2
} SymbolTypeConstants;
```

4. 线型

```
enum
{
    maSolidLine = 0,
    ......
} LineStyleConstants;
```

5. 颜色常量

```
enum
{
    maBlack = 0,
    maRed = 255,
    ......
} ColorConstants;
```

6. 图层类型

```
enum
{
    maVectorLayer=0,
    maRasterLayer=1,
    ma3DLayer=2
}LayerTypeConstants;
```

7. 栅格调色板

```
enum
{
    maTrueColor=0,
    maPseudo=1,
    margay=2
}RasterDrawOptionConstants;
```

8. 三维基本属性

```
typedefstruct
{
    short  rows;     //行数
    short  cols;//列数
    long   MaxValue;//属性值中的最大值
    long   MinValue;//属性值中的最小值
    long   AveValue;//属性值中的平均值
    long   MeanValue;//属性值中的均值
    short  GridXWidth;//网格 X 方向上的宽度
    short  GridYWidth;//网格 Y 方向上的宽度
    short  NBinds;//波段数
} 3DPROPERTY;
```

9. 三维灯光属性

```
typedefstruct
{
    float  LightPosition[4];//光源位置
    float  LightAmbient[4];//光源环境光
    float  LightDiffuse[4];//光源反射光
    float  LightSpecular[4];//光源散射光
}3DLIGHT;
```

10. 三维视角

```
typedef struct
```

```
    ...
} 3DLOOKAT;
```

11. 三维雾气属性

```
typedef struct
{
    ...
} 3DFOG;
```

12. 鼠标光标

```
enum
{
    maDefault = 0,
    ...
} MousePointerConstants;
```

13. 栅格显示属性

```
enum
{
    maTransparent = 0,
    maOpaque = 1
} DrawStyleConstants;
```

14. 投影

```
enum
{
    maProjection_Albers = 43007,
    ……//40 种投影
} ProjectionConstants;
```

15. 统计图模式

```
enum {
    maGraphArea = 0,
    …//10 种投影
} GraphType;
```

16. 地图单位

```
enum {
    maMillimeter = 10,
    maCentimeter = 100,
    ...
    maDegree = 0
} maUnits;
```

第 10 章　用户界面设计

10.1　MaXplorer 组件界面设计

MaXplorer 采用组件式开发，以 OCX 的形式提供给用户可视化的界面(MaView)。MaView 可响应以下的事件，用户可映射这些消息处理特定的操作，以提高编码效率。

(1)MouseDown：鼠标按下时响应的事件。

(2)MouseUp：鼠标按下后松开时响应的事件。

(3)MouseMove：鼠标拖动时响应的事件，包括鼠标键按下和未按下两种状态。

(4)BeforeLayerDraw：重画图层前响应的事件，一般是做一些初始化工作。

(5)AfterLayerDraw：图层重画后响应的事件。

(6)AfterTrackingLayerDraw：重画 Tracking 图层后响应的事件。

(7)BeforeTrackingLayerDraw：重画 Tracking 图层前响应的事件。

(8)Click：鼠标单击时响应的事件。

(9)DblClick：鼠标双击时响应的事件。

(10)ChangeDrawMode：当改变图形、图像模式时响应的事件。主要针对三维图的。

10.2　MaXplorer 数据管理系统界面设计

MaXexplorer 数据管理系统是用于定位、浏览和管理空间数据的、以数据为核心的系统。MaXplore 可以创建和管理空间数据库，可以帮助用户维护空间和表格数据。本系统的主框架共分割为四个区：莱单栏、工具条区、树状视图、浏览面板，其主界面如图 10-1 所示。

以下部分是对 MaXplorer 的视图、工具栏和莱单栏的界面和功能的具体设计说明。

MaXplorer 有两个主要的可视化组件，第一个是显示目录列表的树状视图，第二个是提供了 3 种数据浏览方法的浏览面板，下面分别进行介绍。

10.2.1　树状视图

如图 10-1 所示，目录树是海洋数据树形视图，作为目录表显示不同来源的海洋数据。目录树中包含以各种特殊图标显示的数据集。每一种数据集都有一个唯一的图标表示。用户可以通过目录树查看本地硬盘上的文件和文件夹。

10.2.2 浏览面板

如图 10－1 所示，浏览面板显示树状视图中选择的项，浏览面板顶部的标签让用户按照三种方式检查数据项，这三种方式是：内容模式、预览模式和文档模式。



图 10－1 MaXplorer 数据管理主界面

1. 内容模式

选择“内容”标签，进入内容视图。在内容视图中，可以通过 4 种方式浏览查看文件和文件夹，他们分别是列表控件方式、列表方式、大图标方式和微缩方式。

2. 预览模式

选择“预览”标签，进入预览视图。预览视图显示被选择的数据集，具体显示的内容取决于所选择的数据类型，若所选择的是表格数据，则预览标签视图如图 10－2 所示。预览视图将显示在表格中存储的数据。在这个视图里面，用户可以查找自己想要的数据，也可以对表格数据进行添加和删除字段的操作，然后把修改完的表格数据进行保存。

“预览模式切换”组合框可以提供两种切换模式：表格和空间图形。如果选择“地理图形”，表格数据显示区将切换为空间数据显示区，在本应用中，可以考虑使用自主开发的“数据多维动态可视化控件”来显示海洋图形图像数据。如果海洋数据是图像或者是二维数据，本应用将提供一个工具条，供缩放和漫游等操作之用，如果海洋数据是三维数据，则提供另一工具条供操作之用。具体工具条的功能将在介绍工具条时说明。

如果在树状视图中选中的是不可预览的文件夹或文件，预览面板将如图 10－3 所示。



图 10－2　预览视图——表格数据



图 10－3　选中部分不可预览

3. 文档模式(元数据模式)

选择"元数据"标签,进入元数据视图。该视图允许用户利用扩展标注语言(XML)创建和显示被选数据集的文档(即元数据)。

10.2.3 工具条

初步设计有5个工具条,他们分别是:主工具条、地址工具条、图形图像工具条、3D浏览工具条和元数据工具条,下面分别对他们进行详细的介绍。

1. 主工具条

主工具条如图10-4所示。



图10-4 主工具条

主工具条上从左到右工具按钮的功能分别为:跳到上一级目录;拷贝文件;粘贴文件;删除文件;大图标显示文件、文件夹;列表显示文件、文件夹;详细显示文件、文件夹;缩微模式显示文件、文件夹;调出切换到桌面系统;调出综合制图系统;调出工具箱。

其中,通过主工具条最后一个按钮调出的工具箱如图10-5所示意。

工具箱将提供3类工具集:分析工具、数据转换工具和数据管理工具。

图10-5 工具箱

2. 地址工具条

地址工具条如图10-6所示。

地址工具条的组合框将显示当前选中的文件或文件夹的路径。



图10-6 地址工具条

3. 图形图像浏览工具条

"图形图像浏览工具条"在切换到预览视图,并且在视图中显示的是图像或者是二维图形时将变为可用。图形图像浏览工具条如图10-7所示。



图10-7 图形图像工具条

图形图像浏览工具条从左到右工具按钮的功能分别为：放大图形图像；缩小图形图像；拖放图形图像；全图浏览；查询选中点信息；制作微缩快照。

4. 3D浏览工具条

3D浏览工具条在切换到预览视图，并且在视图中显示的是三维图形时将变为可用。3D浏览工具条如图10－8所示。



图10－8 3D浏览工具条

3D浏览工具条从左到右工具按钮的功能分别为：浏览3D View的主工具；翻转；设置场景的中心；全视图显示所要浏览的目标；功能待定；放大3D场景(可以框选)；缩小3D场景(可以框选)；放大3D场景(不可以框选)；缩小3D场景(不可以框选)；拖放3D场景；全图显示3D场景；查询选中点信息；制作微缩快照。

5. 元数据工具条

元数据工具条如图10－9所示。



图10－9 元数据工具条

类型组合框提供一些样式表，为用户查看XML提供了不同的方法。

除了类型组合框，元数据工具条从左到右工具按钮的功能分别为：编辑元数据；元数据属性；创建更新元数据；输入元数据；输出元数据。

10.2.4 菜 单

MaXplorer数据管理系统菜单提供了数据管理操作常用的工具。包括文档管理、数据转换等方面的内容。其主要功能菜单如图10－10所示。



图10－10 主菜单栏

1. "文件"菜单

提供了对文档及目录的基本操作，并能修改目录、文件的属性。

2. "编辑"菜单

只有两个子菜单，数据文件的复制和粘贴。

3."视图"菜单

管理各个工具条、目录窗口及状态条的隐现。其功能子菜单如图 10-11 所示。



图 10-11 视图菜单

4."向上"菜单

向上工具菜单只有一个子菜单,单击它,树状视图中的选中项将变为当前选中项的父项。

5."工具"菜单

除能链接到桌面系统和综合制图系统外,还提供了能进行数据转换和分析的工具箱。其功能子菜单如图 10-12 所示。

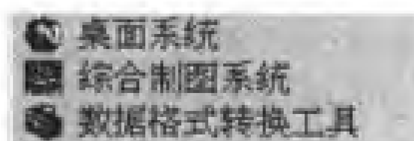


图 10-12 子菜单

6."帮助"菜单

提供了访问系统网站和本系统使用方法的帮助文档及版本信息。其功能子菜单略。

10.3 MaXplorer 桌面系统界面设计

根据上两章的需求和设计,结合该桌面系统应该实现的功能,目前 MaXplorer 桌面系统界面设计如下:

整个界面主要分为菜单栏、工具栏、功能模块转换及图层管理区、图形图像显示区以及状态栏五个部分。大致如图 10-13 所示。

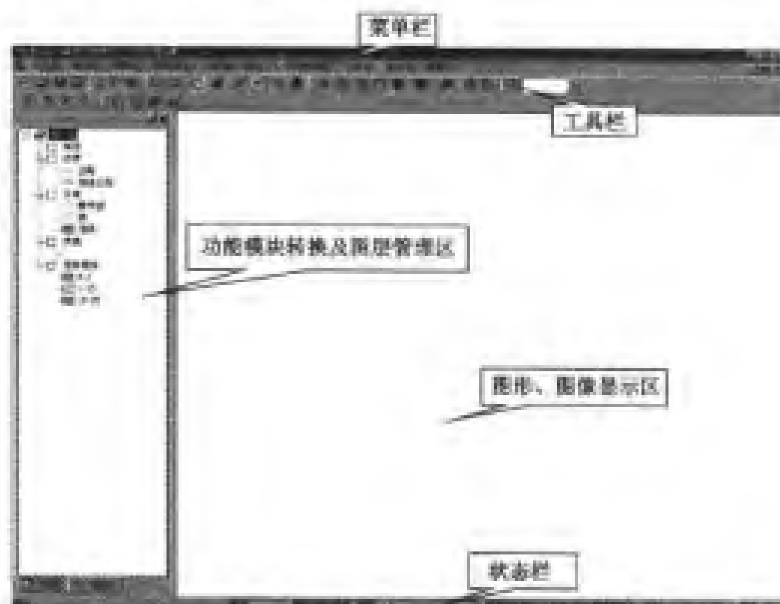


图 10-13 MaXplorer 桌面界面

下面就将该界面的主要部分做一介绍。

10.3.1 菜单栏

菜单栏主要依据系统所要实现的功能进行设计，如图 10－14(包括标题栏)。



图 10－14 菜单栏

菜单栏主要包括：文件、编辑、视图、层管理、分析、统计、图像变换、工具、窗口以及帮助 10 个菜单项。

1. 文件菜单项

文件菜单项主要是对文档和工作空间的管理。如文件的新建、打开、关闭等。

2. 编辑菜单项

编辑菜单项主要提供对图形数据的编辑操作。

3. 视图菜单项

视图菜单项主要是管理数据视图与布局之间的切换、工具窗口的隐现及图形图像的缩放(图 10－15)。

4. 层管理菜单项

层管理菜单项是针对数据图层管理的，主要是图层的添加、关闭及对矢量图层的显示管理(图 10－16)。



图 10－15 视图菜单

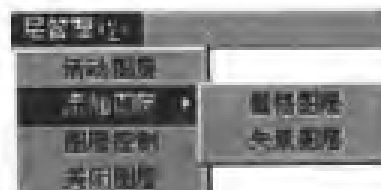


图 10－16 层管理菜单

5. 分析菜单项

分析菜单项是实现对图形图像的空间分析，包括各类叠加分析、特征分析等功能(图 10－17)。

6. 统计菜单项

统计菜单项主要是对海洋特征数据的统计，包括面积统计、长度统计、特征数据统计及点数据统计等(图 10－18)。

7. 图像变换菜单项

图像变换菜单项是对遥感的一些变换处理，以突出一些特殊的地面特征。

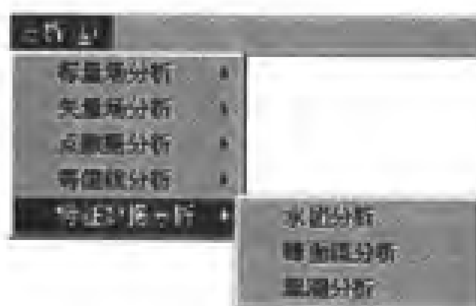


图 10－17　分析菜单



图 10－18　统计菜单

8. 工具菜单项

工具菜单项提供了对数据管理子系统和综合制图子系统的链接及其他一些经常用到的功能(图 10－19)。

9. 窗口菜单项

窗口菜单项只提供了两个功能:全图总体概览和局部详细显示(图 10－20)。

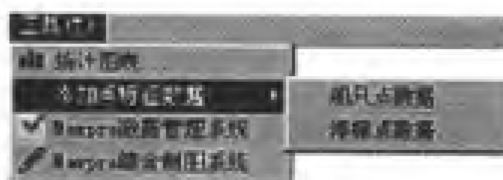


图 10－19　工具菜单项



图 10－20　窗口菜单

10. 帮助菜单项

帮助菜单项提供了该产品的使用说明、版本信息及本产品网站链接。

10.3.2　工具栏

MaXplorer 桌面系统共有五个主要工具条:标准工具条、常用工具条、三维工具条、分析统计工具条、编辑工具条。下面就一一介绍。

1. 标准菜单栏

前十一个按钮完成对图形图像文件的操作,按钮名称依次为:新建按钮、打开按钮、保存按钮、打印按钮、剪切按钮、复制按钮、粘贴按钮、撤销按钮、向前按钮、工作区显示按钮、添加图层按钮。后四个按钮分别为:MaxPro 综合制图系统转换按钮,实现从桌面系统到 MaxPro 综合制图系统的切换;MaxPro 数据管理系统转换按钮,实现从桌面系统到 MaxPro 数据管理系统的切换;关于按钮和退出按钮(图 10－21)。



图 10－21　标准菜单栏

2. 常用工具栏

该栏按钮分别为：恢复按钮，恢复其他按钮的状态；放大按钮，实现图形的放大显示；缩小按钮，显示图形的缩小显示；漫游按钮：实现图形的漫游；全图按钮，实现全图的显示；选择按钮，以点、框、圆三种方式完成对图形的选择；查找按钮：对图形进行动态查找；测量工具按钮：选择测量工具，完成量算工作；属性按钮：显示图形中实体的属性；比例选择：选择图形显示的比例（图 10－22）。

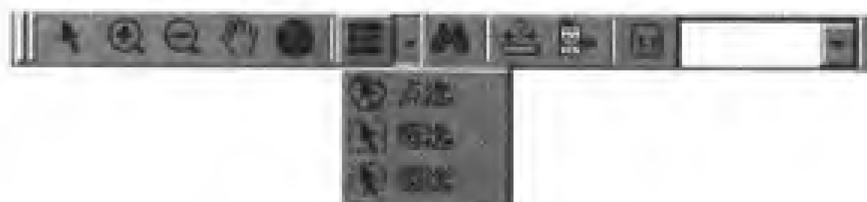


图 10－22　常用工具栏

3. 编辑工具栏

该工具栏中的工具实现对图形的编辑。按钮依次为：属性编辑按钮；图形移动按钮；图形删除按钮；绘制点线面按钮。

4. 图形处理工具栏

该工具栏中的工具实现对图形图像的处理。按钮依次为：旋转按钮，颜色设置按钮，灰度处理按钮，柱状图处理按钮。

5. 三维工具栏

该工具栏中的工具实现对三维图形、图像的操作、设置。按钮依次为：漫游按钮，旋转按钮，全图按钮，添加注记按钮，信息查询按钮，设置飞行路径按钮，对比度、清晰度、雾气设置按钮（图 10－23）。

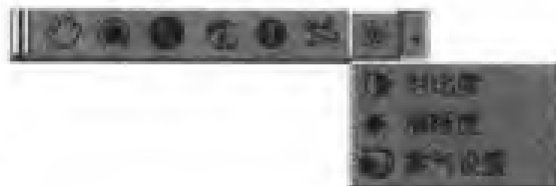


图 10－23　三维工具栏

10.3.3　功能模块转换及图层管理区

如图 10－24、图 10－25，图层管理区：实现对图层的显示、管理操作。在图层区，右键点击具体图层，会弹出图层处理菜单；右键点击图层中具体实体，会弹出颜色选择对话框来设置图层颜色。

10.3.4　状态栏

主要显示当前系统的操作的相关状态以及鼠标当前空间位置坐标等相关信息。

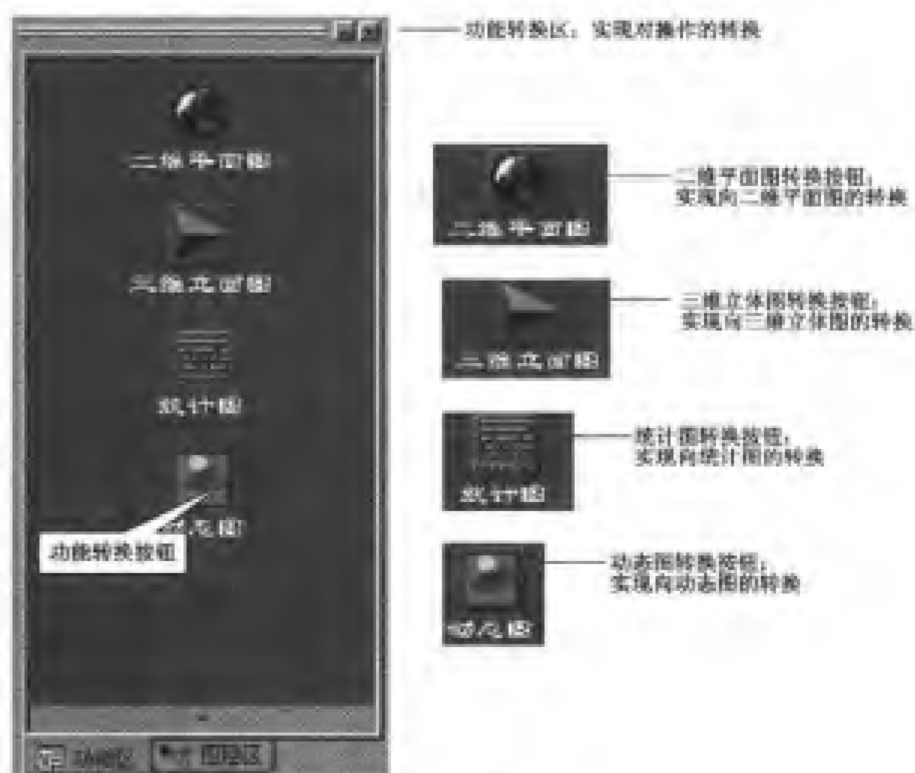


图 10－24　功能区界面

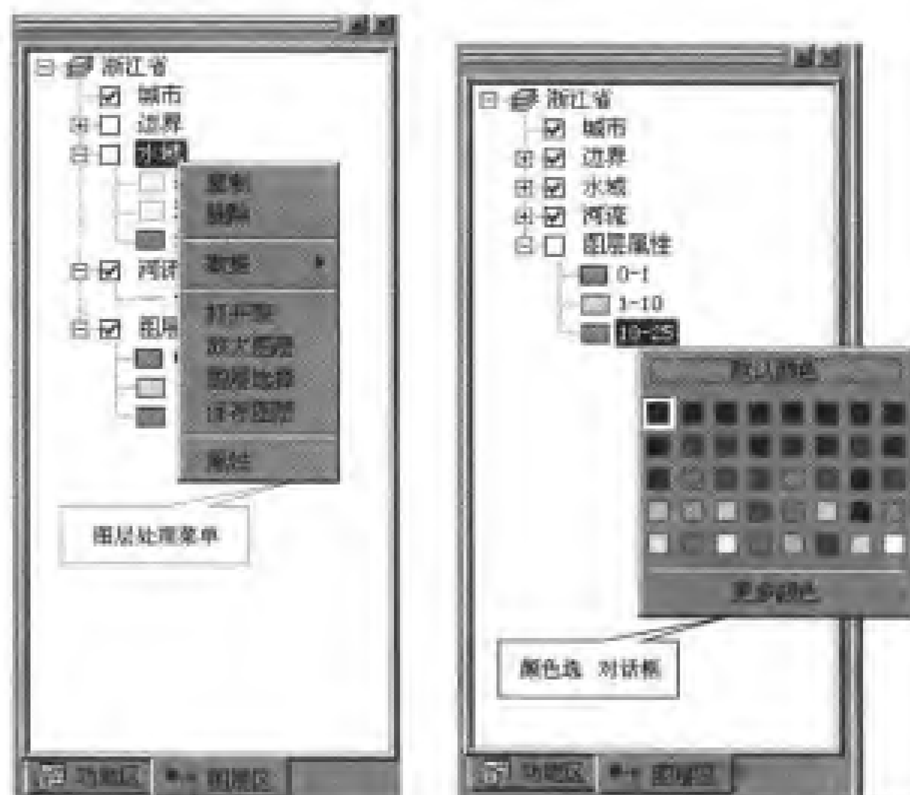


图 10－25　图层区界面

10.4 MaXplorer 制图系统界面设计

10.4.1 总　体

MaXplorer 桌面制图系统是 MaXplorer 的一个子系统，主要是面向 MaXplorer 一些处理结果的更好地可视化而开发的。MaXplorer 桌面制图系统的主框架分为四个主要区：菜单区、工具条区、图层控制区和图形显示区，总体界面如图 10－26 所示。

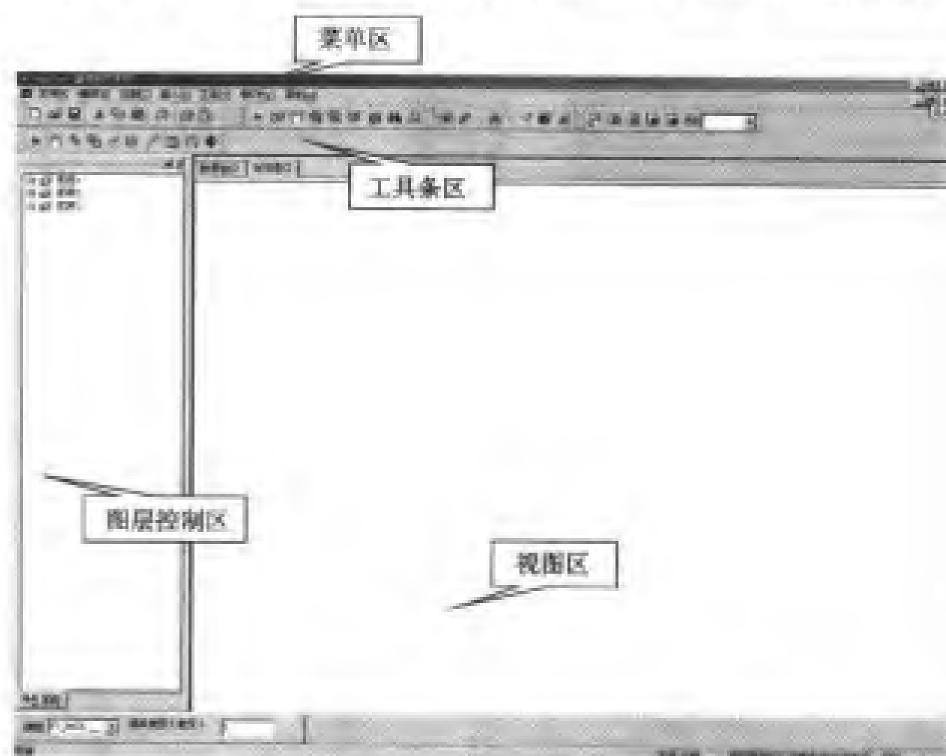


图 10－26　制图界面

10.4.2 菜　单

MaXplorer 桌面制图系统共有七个主菜单项，提供了用户所需的几乎全部操作。其示意图如图 10－27。



图 10－27　主菜单

1．“文件”菜单

与其他桌面系统相似，主要提供了对文档的基本操作。其功能子菜单如图 10－28。

其中打开有下一级子菜单，如图 10－28 所示，根据 MaXplorer 系统的特性，将所有的数据分为矢量图层，栅格图层，场图层，SHIP 点图层，特征图层。转入，转出功能将提供一些常用数据的转换。



图 10－28　文件菜单

2.“编辑”菜单

主要功能是一些简单的图形操作，对象复制、选择等。其功能子菜单如图：

其中插入新对象是指插入一些 OLE 对象。

3.“视图”菜单

是对图形显示区的管理，提供了缩放，视图切换及控制一些辅助窗口的隐现。

4.“插入”菜单

主要提供在制图过程中插入一些地图要素，包括图幅标题、注记、指北针等，一般用在布局视图。其功能子菜单如图10－29。

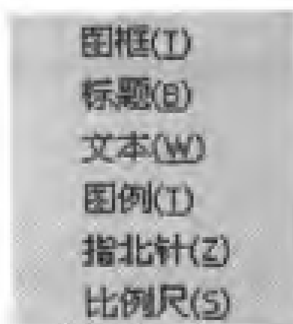


图 10－29　插入菜单

5.“工具”菜单

提供了对数据管理、桌面系统的链接及地理编码等功能。其功能子菜单如图 10－30。

6.“窗口”

提供了审视窗及对图形窗口的管理功能。

7.“帮助”菜单

包括该系统的使用说明及本系统的版本信息。



图 10－30　工具菜单

10.4.3　工具条

MaXplorer 桌面制图系统有五个主要工具条：常用工具条、地图工具条、操作工具条、元素工具条、布局工具条。具体如图 10－31 至图 10－38 所示。

常用工具条：完成一些基本的文件操作，如文件的新建、打开、保存、粘贴、剪切等，后面三个图标是增加图层、数据管理和连接桌面系统。



图 10－31　常用工具条

地图工具条：主要完成一些地图要素的编辑操作，选择，漫游，缓冲区，包含，交叉，镜像，分割，属性，旋转，滚动条。

操作工具体：完成地图的一些基本功能，选择，元素选择，漫游，放大，缩小，全图，信息，查找，距离量测。



图 10－32　地图工具条



图 10－33　操作工具条

布局工具条：这个工具条是在布局窗口中使用的，功能有漫游，放大，缩小，前一视图，后一视图，比例缩放。比例缩放指的是按照指定的比例来缩放，后面的框里可以让你选择想要的缩放比例，如 100%，200%等。



图 10－34　布局工具条

元素工具条：此工具条是对地图要素的增加及修改使用的，有增加直线，折线，圆，矩形，多边形，椭圆，点，文本，以及对这些要素的线型，颜色，字体等属性的修改。

其中点击线型样式会出来设置字体属性的对话框，如图 10－36 所示。



图 10－35　元素工具条



图 10－36　线样式弹出窗口

其中点击区域会出来设置字体属性的对话框，如图 10－37 所示。

其中点击文本会出来设置字体属性的对话框，如图 10－38 所示。

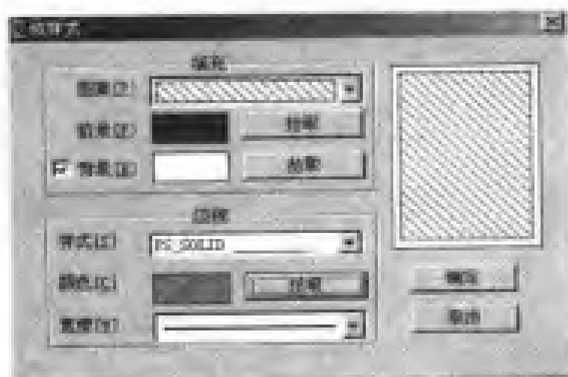


图 10－37 区域样式弹出窗口



图 10－38 文本样式弹出窗口

10.4.4 视 图

MaXplorer 桌面制图系统有两个视图，一个基本的地图视图，可以在此视图中进行一系列的操作，可以打开栅格和矢量地图，为出图做资料准备。另一个视图就是布局视图，在此视图中可以增加一些诸如比例尺，指北针一类的地图要素，使地图完整，美观。

10.4.5 图层管理

MaXplorer 桌面制图系统的图层管理由一个图层管理窗口来完成，如图 10－39 所示。

点击新建图层按钮，可以新建一层你想要的图层，弹出来的对话框，可以根据图层的需要对新建的图层进行参数设置。

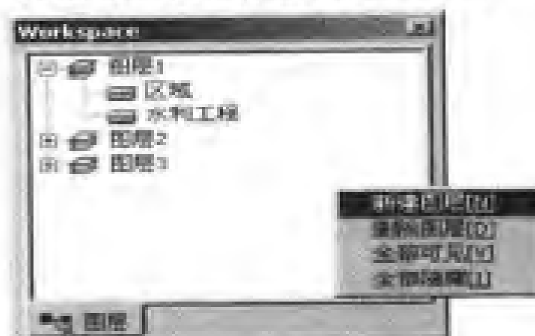


图 10－39 图层管理界面

第11章　MGIS的主要技术特点

MaXplorer包括三大部分，即数据管理、桌面分析和集成系统。本章主要介绍前两部分的功能特点与技术特点。

11.1　数据管理

对数据的管理采用树结构，左边是树结构，右边可对选中的数据进行显示。显示方式包括文本、表格或图形显示，同时可显示其元数据(见图11-1)。

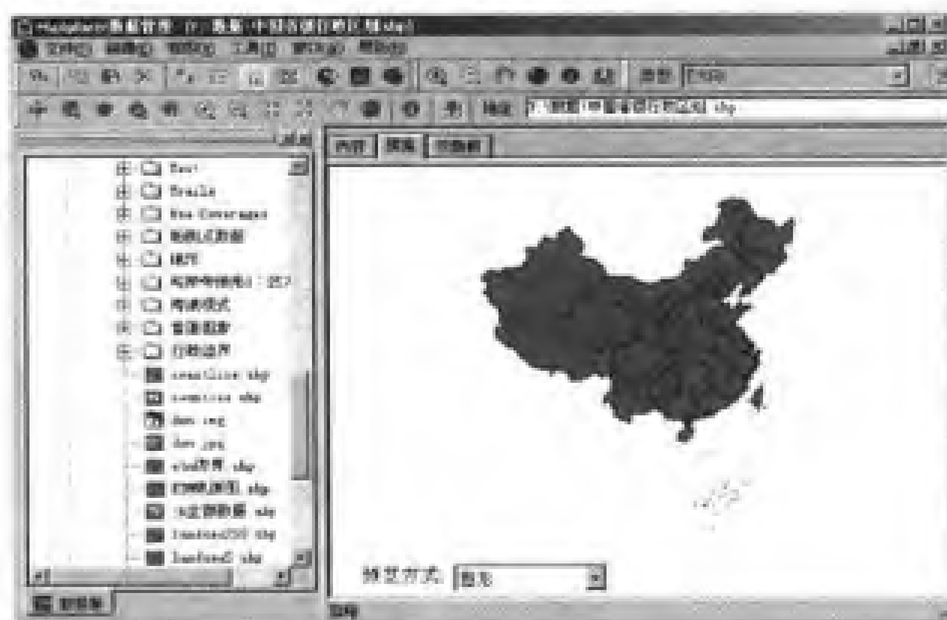


图11-1　数据管理的树结构及其元数据

11.1.1　主要功能

(1)对磁盘数据的浏览，以及复制粘贴剪切等文件管理功能。

(2)对栅格、矢量的读取、和格式转换，对表格数据的读取和不同表格数据的格式转换。

(3)对特定文件元数据的管理，包括录入修改和编辑，并可利用元数据进行查找数据。

11.1.2 实现方法

数据管理模块支持三大类数据：栅格图像数据，矢量图形数据和表格数据。栅格数据支持的格式包括：jpeg，jif，bil，hdf，img，bsq，bmp，tif，pcx，tga 等，读取这些格式的模块都是从 CmaDatasetRaster 的父模块里继承过来。

矢量数据支持的格式包括：asc，shp，hgt，grd，dbf 点文件，hgt。读取矢量数据的模块都是从 CmaDatasetVector 的父模块里继承过来的。

表格数据支持的格式包括：acess，excel，dbf 等格式。读表格数据的模块则从 CmaDatasetDBase 继承。

而 CmaDatasetRaster，CmaDatasetVector，CmaDatasetDBase 都是从 CmaDataset 这个模块继承过来。可以用图 11－2 示意。

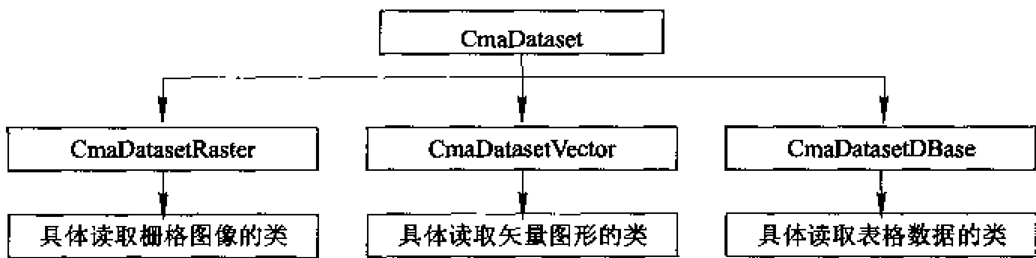


图 11－2 数据管理中类关系

模块的前台结构采用数据浏览区——工作区的方式，左侧是数据浏览区，采用树形浏览方式浏览磁盘文件，并可用右键菜单来进行基本磁盘文件操作。右侧是工作区，包括图形预览、内容、元数据等三个窗口。结构关系如图 11－3。

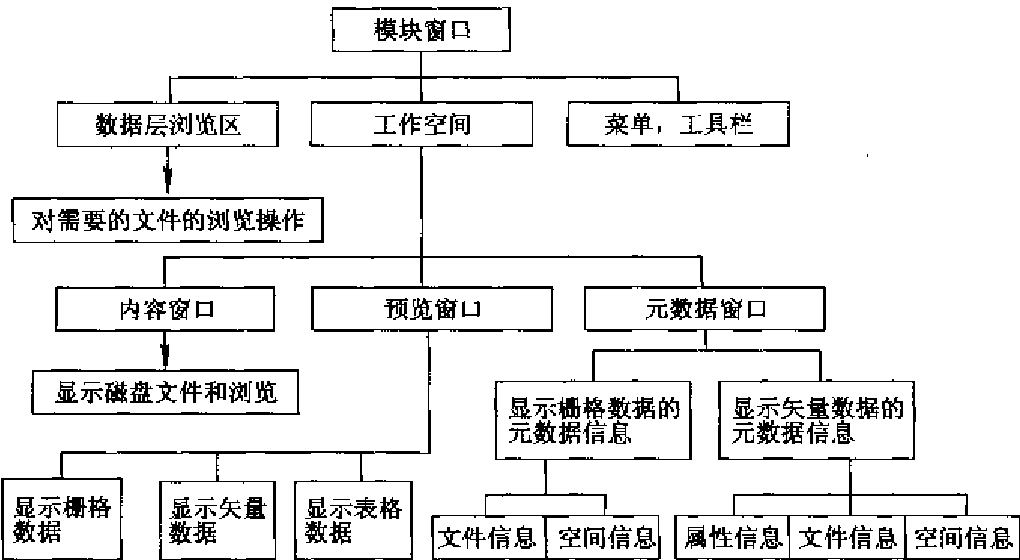


图 11－3 数据管理的结构关系

不同格式数据的相互转换的实现见图 11－4。由于系统后台采用从底层继承的方式

管理数据，因此不同数据在本模块系统中读取后，就已经转换为统一的数据格式，这就为不同格式数据的相互转换提供了基础。在清楚分析了各种数据格式后，在本模块中就可以实现不同数据格式的相互转换。

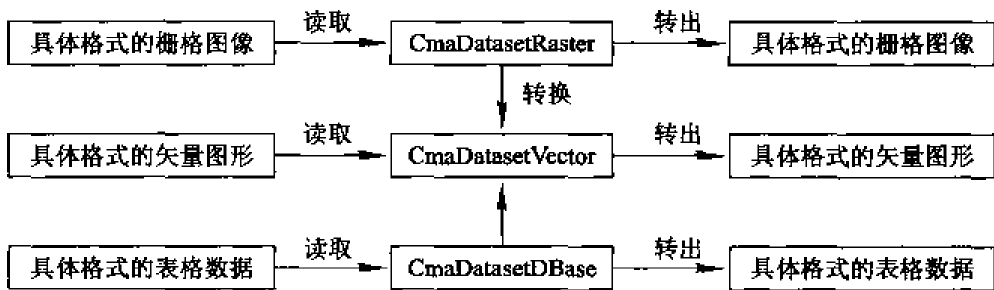


图 11-4　数据管理的结构关系

11.2　桌面处理 MaXplorer

11.2.1　对象关系模型

系统采用面向对象的开发方法，各个功能都是以模块化、对象化的方法实现。共有数据管理、数据显示、数据分析、和基本对象四个模块。其对象关系如图 11-5 所示。

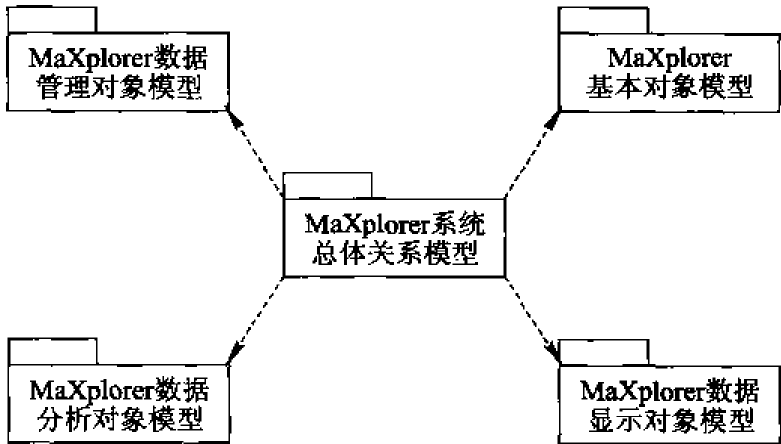


图 11-5　总体对象关系模型

1. 数据显示对象模型

系统的显示模块是基于 MFC 的 CWnd 窗口类，根据不同的用户需要，分为二维窗口、三维窗口、动画窗口、表格窗口等。窗口中显示的数据以图层集的形式组织的，每个图层都有自己的数据集，通过数据集和数据管理对象模型相互通信。其结构图见图 11-6。

2. 数据管理对象模型

数据管理对象以数据集为中心，为了较好的管理海洋的多源数据，又加入了工作空

间(MaWorkspace)、工程(MaProject)、数据集的集合(MaDatasets)等对象，从而把复杂的海洋多源数据有机地组织在一起。其结构见图 11－7。

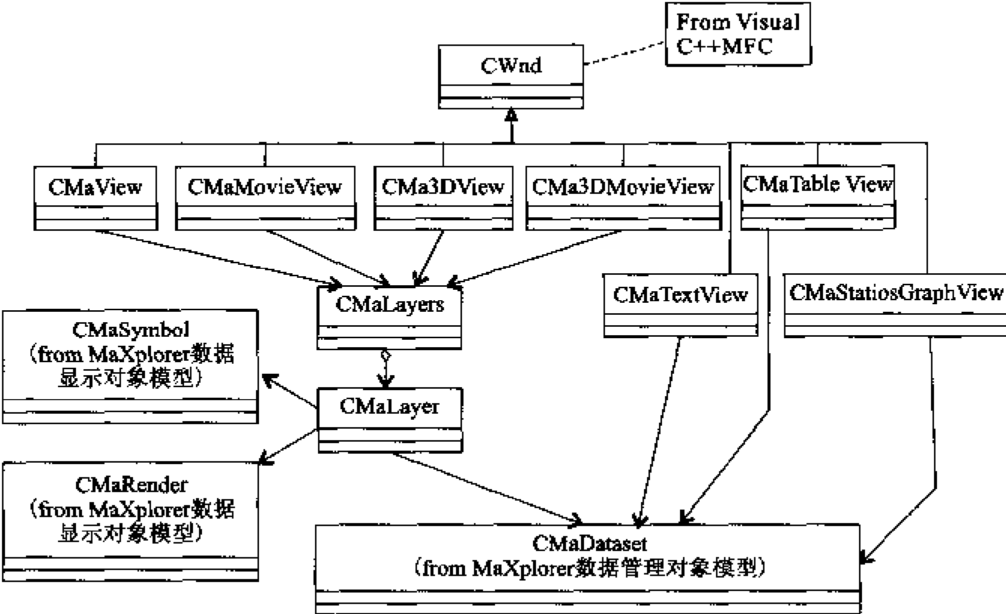


图 11－6　数据显示对象模型

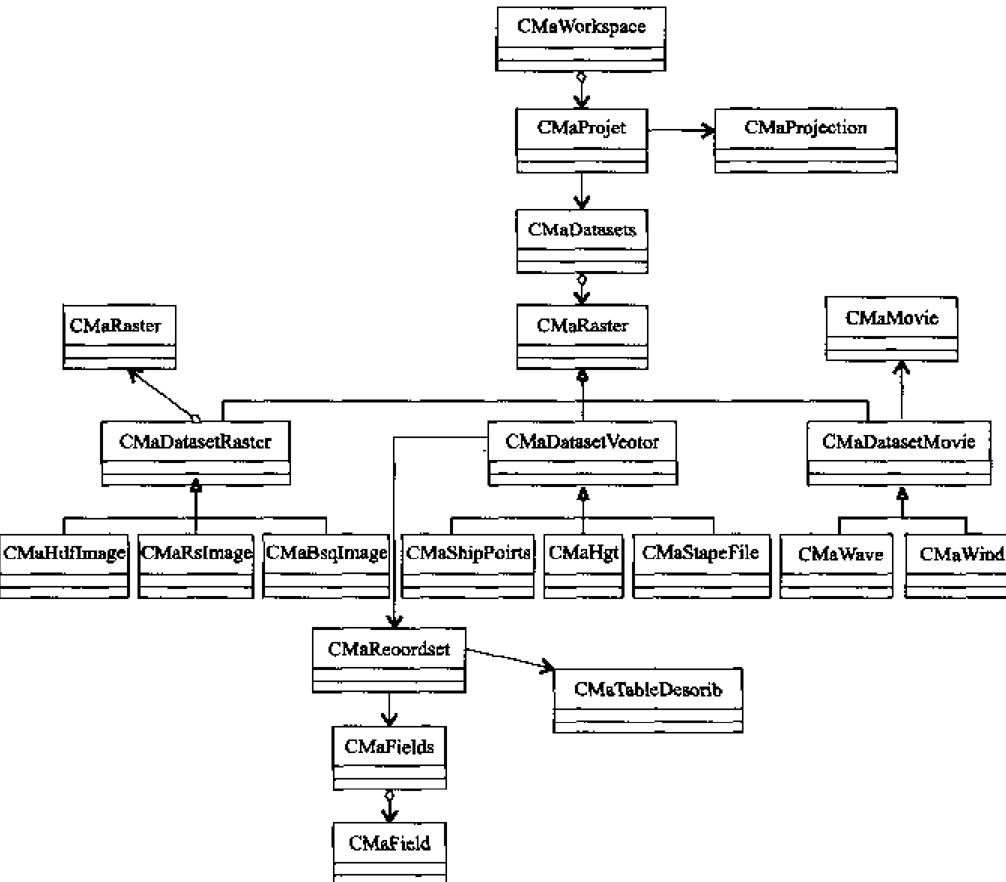


图 11－7　数据管理对象模型

3. 基本对象模型

基本对象主要是各类基本图形的表达，包括从几何体(MaGeometry)派生出来的点、点集、线、面、圆等几何对象。其结构示意图见图11-8。

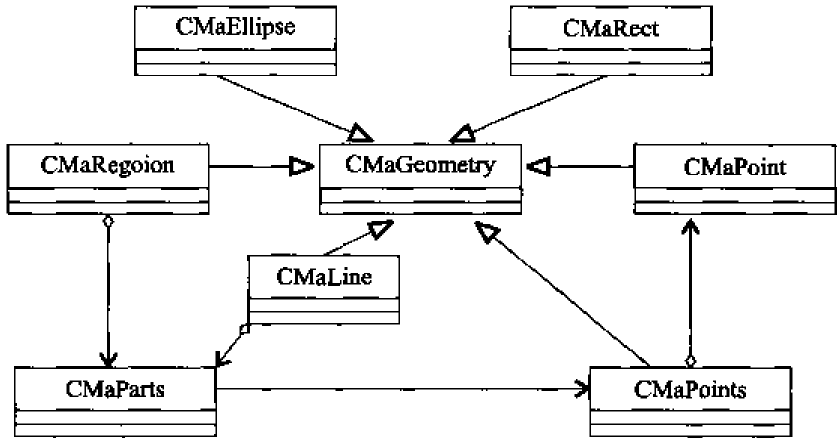


图11-8 基本对象模型

4. 数据分析模型

数据分析模型分为基于栅格(网格)和基于矢量(散点)两类分析对象，基于栅格的分析主要是一些图像的分割、重建、重分类等。而基于矢量的分析主要是对测点站点的分析，包括数据抽取、内插、生成等值线等，见图11-9。

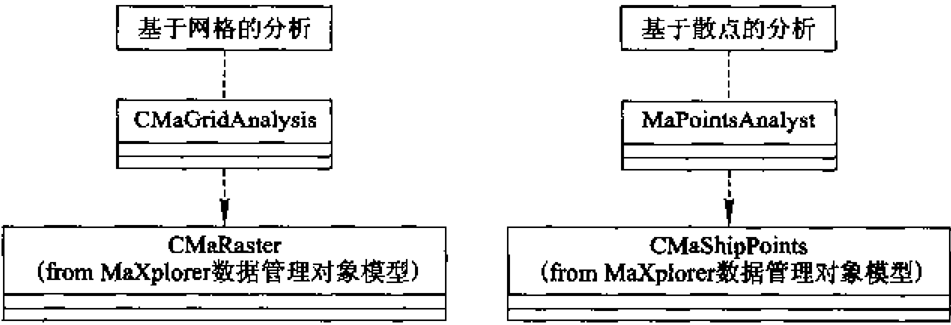


图11-9 数据分析模型

11.2.2 主要技术特点

1. 多源数据的一体化管理

在系统中，数据源较多，包括海岸带的遥感影像、海岸带各类地形数据、海洋船测点数据及海洋遥感数据等，且数据类型也各不相同，海洋船测点就有DBF表、Access数据库表和Excel表格等形式。要把这些数据用统一模式管理起来，主要依赖于数据管理。多源数据管理是系统的关键技术之一。

为了较好地管理这些庞杂的数据，系统采用三层管理机制：工作空间(MaWorkspace)→数据集的集合(MaDatasets)→数据集(MaDataset)。系统采用面向对象的开发

技术，每一层都是一个对象(用类(Class)来实现)，各层内部功能相对独立，但相互之间能通过接口互相访问，其设计思想如图 11 - 10。

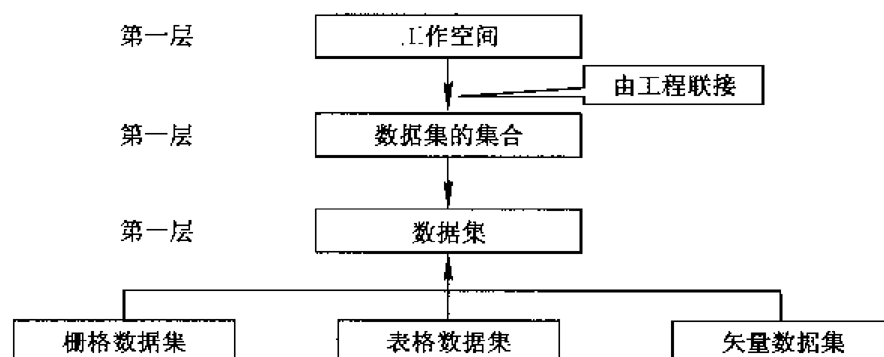


图 11 - 10　数据管理机制

上层和下层的关系都是一对多的关系，其中数据集可以是栅格的、矢量的、文本的或者表格的(如 Excel 等)，各层都有自己的打开、保存、修改等函数。

工作空间和数据集的集合之间由工程连接，一个工作空间可能有多个工程组成，工程是数据集的最终管理者，可有不同的类型，根据数据源的不同和用户的需要，可以分为：二维、三维、表格、二维动态、三维动态等。

运用该管理机制，不但可以将海洋多源数据很好地管理起来，并且有利于实现以下功能：

• 类数据读入系统后，以一个统一模式存储，有利于以后的各类操作，如数据格式的转换、数据的可视化等。在系统中，栅格数据是以一个 CMaRaster 的对象管理的，而矢量和表格数据是以 CMaRecordset 对象管理的。

• 由于各层之间相对独立，对该层的修改不会影响到其他层，大大减少了操作的复杂度。

• 各层之间的通信接口简单实用，上层调用下层利用 GetItem(int index)，而下层调用上层利用 GetParent()。这样的设计思路，有利于系统的二次开发。

• 各个对象底层用 C++开发设计，而二次开发是在 VC++中。

整个应用程序只能有一个工作空间，每一个工程都有一个相对应的窗口，其各层关系的表现形式如图 11 - 11。

2. 多源数据的一体化显示

对于多源的海洋数据，其格式可能有普通图像、遥感图像、矢量电子地图、海洋船测点数据等，可能这些数据有统一的地理坐标，也可能其坐标系统各不相同，若需要将这些数据放在一起研究，就存在一个问题：如何一体化显示到同一窗口中？只有在同一视图中可视化，他们才有可比性。一体化显示也是系统要解决的关键问题。

若所有数据集都有统一的坐标系统，则只需将源图中的所有点的地理坐标映射到设备(屏幕)坐标上即可。而对于没有统一坐标的数据集，显示时若直接映射，其结果可以想象，肯定难以达到用户的要求。因此，首先必须进行坐标配准，为实现快速转换，系统在坐标转换时不考虑投影变换的问题，采用的是一次线性方程转换法，该方法算法简单，复杂度低，且其精度已能满足海洋一般应用需求如图 11 - 12。



图 11－11　数据组织的表现形式

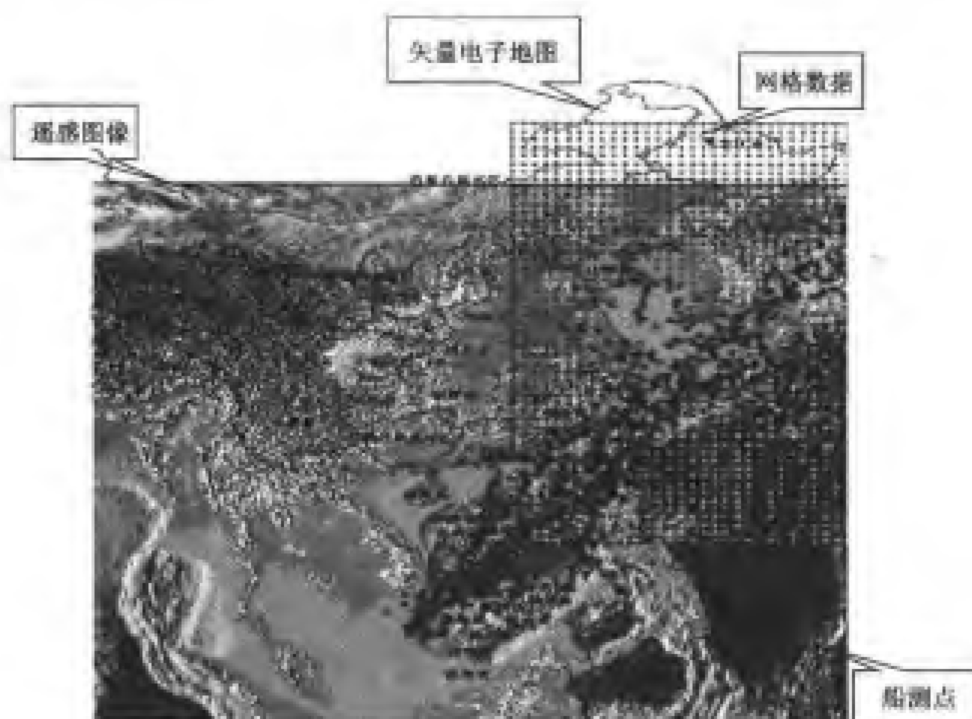


图 11－12　多源数据的一体化显示

3. 多源数据的多样化显示方式

海洋多源数据的格式多种多样，其用途和表现形式也各不相同，在读取和管理这些数据之后，怎样让用户用不同的方式“见到”这些数据，是系统的重要任务之一。

为了适应多源数据的需要，系统具有以图形、图像、三维立体图、表格、文本、动态图

等方式显示各类数据集，同时可对同一数据集以不同的方式表达，也可根据不同的数据集用不同的方式表达。

系统以数据集的方式组织数据，在组织数据集时，每一类数据文件，在数据集中都有一个标识来标识该文件类别，以在显示时决定用何种类型的表现形式，如：对于 Excel 表格数据只能用表格的形式表达，但对于 BSQ 数据，既可以用图像的形式表达整体信息，也可以用表格的形式表达每个像素的物理值，并且若是地形数据，还可以用三维立体的形式表达地形的高低起伏，如图 11－13。

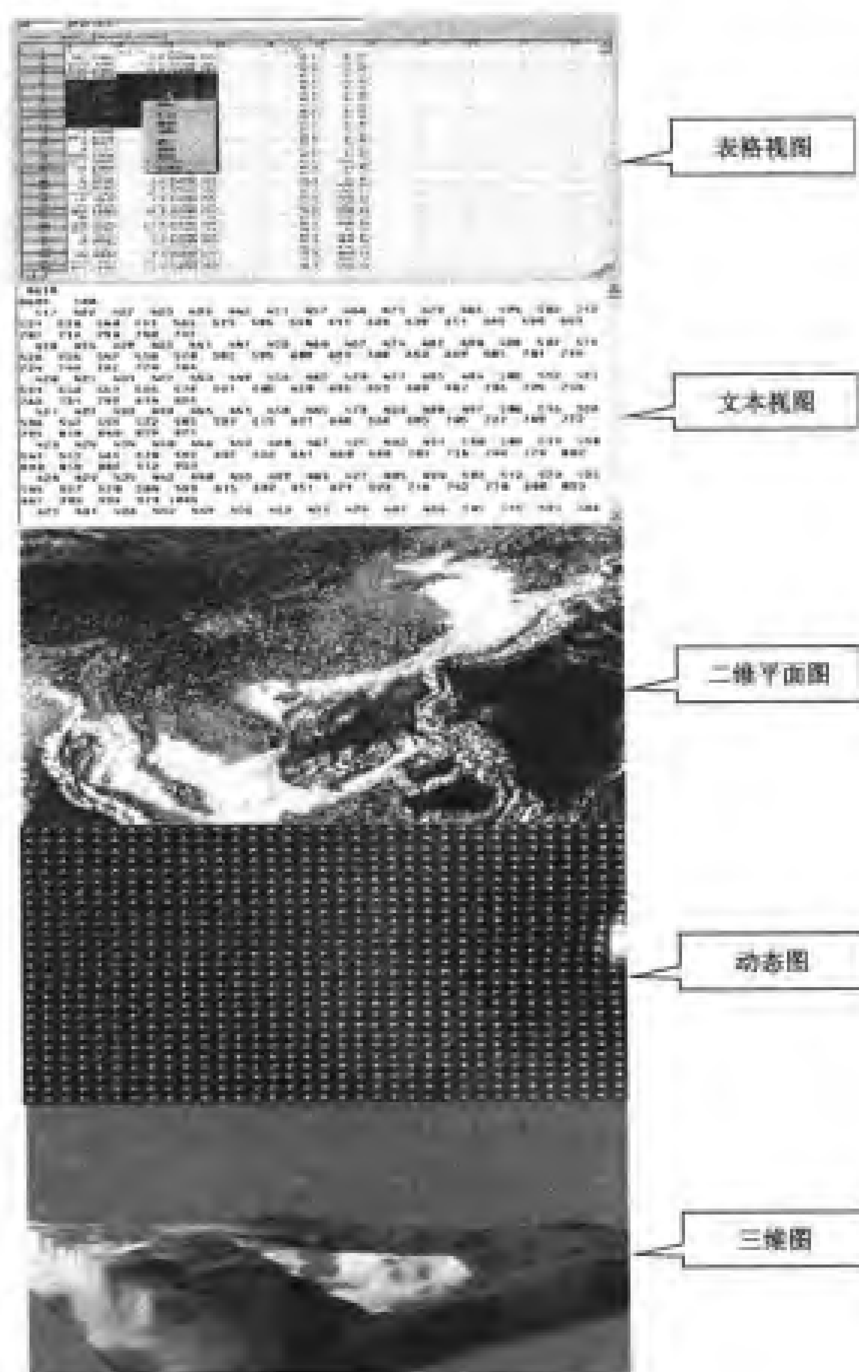


图 11－13　数据的表达方式

如此多样的表达方式，不仅满足了多源数据的要求，同时也给用户带来了很大的方便，对用户理解数据及对数据的后期处理都有很大的帮助。

4. 基于记录集的矢量和表格数据组织方式

系统的一个特色是不基于任何其他商用GIS平台，因此，对于矢量和表格数据，必须有自己的一套数据组织方法才能有效地管理和操作这些数据。为了最真实、以最接近数据的原始存储方式来组织该类数据，系统自主开发了基于记录集的数据组织方法。其组织结构如图11－14。

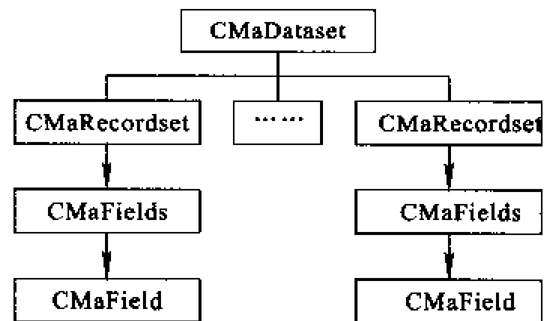


图 11－14 矢量数据组织

一个数据集(MaDataset)可以包含一个或多于一个的记录集(MaRecordset)，每一个记录集包含一个字段集(MaFields)，而字段集是字段(MaField)的集合。所有的数据最终存储在字段中，字段中包含字段的类型、长度等信息，用 SetValue()存入数据，GetValue()读入数据。对于矢量图形，还包含一个存储图形的 Shape 字段。

基于记录集的数据组织方式，有效地管理了矢量和表格数据，并使数据访问过程更简单，只需定位到指定的记录索引(用 MaRecordset 的 Move()函数)，取得相应的字段，就可取得所需的数据。

5. 大数据量的栅格数据组织及显示

目前，计算机的内存是图像处理的一个主要瓶颈，对于一个数据量大于内存容量的栅格数据，如何进行组织及显示，是系统解决的重要问题之一。

系统采用交换内存的方式组织大数据量的数据，其原理如图 11－15。

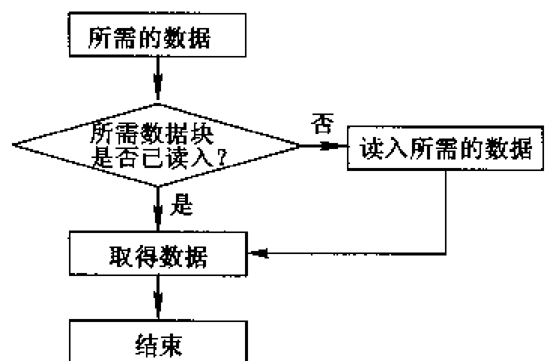


图 11－15 内存交换

内存交换方式对于所要读取的数据是连续时，由于内存交换不是很频繁，效率较高，若所取数据比较集中，有时只交换两三次就可满足要求。但对于所取数据较零散的，几乎每次都需交换内存，效率就比较低。系统对栅格数据的操作，主要用于可视化和分析，因此所取数据几乎都是连续的，比较适合该方式。实际应用证明，效率令人满意。

内存交换方式是一种以时间换空间的方案，虽说节省了内存，但增加了处理器的压力。其效率除了与所取数据有关外，还与每次读取的数据块的大小有关，读取的数据块大，则占用的内存较多，但交换次数可大大减少，若读取的数据块小，占用的内存较少，但交换次数就要增加较多。如何确定内存交换块的大小及何时该使用内存交换方式，都是需要考虑的问题。系统采用的是动态决策动态分配的方法来解决该问题，其过程示意如图 11－16。

数据量是否在内存的忍受范围之内主要原则是：若整个数据读入内存后，是否会影响到该系统后面的其他操作及是否会影响到其他应用程序的运行。系统的判断条件是：若数据量大于剩余内存的十分之一，则认为无法忍受。

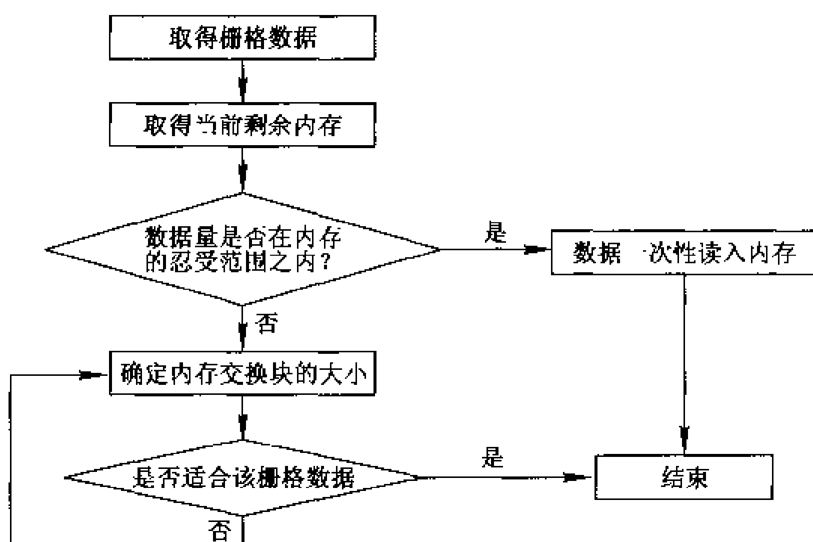


图 11-16　内存交换处理过程

内存交换块的大小第一次确定为剩余内存的 1%。内存交换块的大小是否适合该数据量的判断原则是：该大小的内存块，需多少次可以遍历整个栅格数据。为了不频繁的交换内存，可限定最多不大于 100 次，若大于 100 次，则重新确定内存交换块的大小，使内存交换的大小为数据量的 1%。该原则也符合计算机资源分配原则：数据量大的所占资源多，数据量少的所占资源少。

对于小数据量的栅格数据，采用一次性读入内存，并组织成 DIB，并用 StretchDIBits()函数显示到设备相应的位置。但对于大数据量的数据，由于不是同时一次性读入内存，且显示时也不是把所有数据取出组织成 DIB，其过程就相对复杂得多。其流程图见图 11-17。

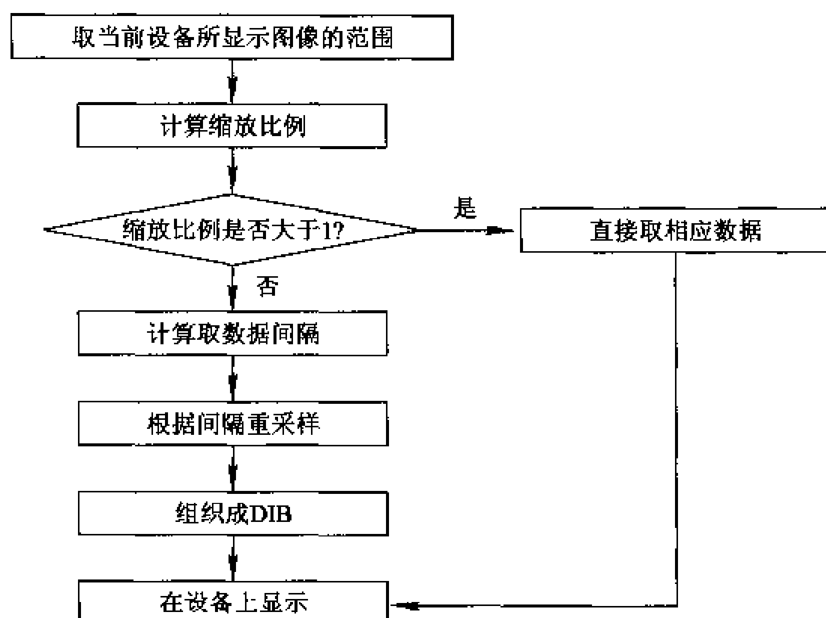


图 11-17　显示过程

若缩放比例大于1,则所显示数据不会超过“设备宽×设备高×每个像素需要的位数”。但对于缩放比例小于1的情况,若直接取显示范围内的数据,则若图像数据比较大,且缩放比例比较小,则其容量计算机是无法承担的。由此可以在不影响显示精度的前提下,运用图像的重采样技术,重新组织图像,使显示图像的数据量远远小于实际的数据,从而解决了大数据量的栅格显示问题。

11.3 查 询

11.3.1 空间查询

空间查询是给定一个点或者一个几何图形(矩形、圆、多边形等),检索出该图形范围内的空间对象以及相应的属性。

1. 查询模型(query model)

空间查询采用二级查询模型,即初级和次级查询,以获得确切的结果集。

第一级,初级查询(primary filter)。通过初级查询将迅速地查询出原始数据集的子集,它将是第二级查询的候选集。初级查询将空间过滤器 shape 和数据集中 shape 的封装边界进行比较,如果两者是任意相交关系即被视为选中。由于初级查询返回的是近似结果,它减少了运算的复杂度,所以是非常高效率的。

第二级,次级查询(secondary filter)。次级查询在初级查询的结果集上继续过滤,它按照空间关系进行精确计算,因此,返回确切的结果集。

2. 查询总体流程设计

空间查询有5种查询方式,分别是点选择、线选选择、矩形选择、圆或椭圆选择和多边形选择。技术关键是空间过滤器的构造,空间过滤器包括一个空间过滤器 shape 和一个空间拓扑关系。基于9-交叉模型可知:空间拓扑关系谓词多达512种。但是它使用复杂,也没有自然语言与之对应。为了满足实际需求,我们参照 OGC 标准、拟议设计Equal、Disjoint、Intersect、Touch 、Cross、Within、Contains、Overlap、Relate 9类关系谓词。

3. 单项查询设计流程

以多边形选择为例,如图11-18所示。

11.3.2 SQL查询

MGIS 的一个主要功能特色之一就是能够根据图形查询到属性和根据属性条件查询到相应的图形。SQL 查询就是解决如何根据属性查找到相应的图形。

系统支持标准的 SQL 查询语言。进一步复杂的查询还可以进行嵌套,即是说 where 的条件中可以进一步嵌套 select 语句。更方便的 MapXplorer 提供友好的用户界面,支持交互式选择和输入 select 语句有关的内容,代替键入完整的 select 语句。



图 11-18　多边形查询流程图

11.4　三维分析

11.4.1　三维可视化数据组织

一体化数据的显示方法有好几种，速度是衡量方法好与不好的一个重要标准，在本书中，尝试了用几种方法来显示数据，其中在速度上就有很大的差别。以下方法讨论中采用规则网格的地形数据(DEM)为例来说明。

一般情况下，DEM数据读到内存，把地形模型数据转换成可识别的原语序列即可，将一个网格用两三角面方式显示。因此在一个网格单元中，就有两个顶点数据冗余。并且，显示的函数调用都是放在显示列表中，程序运行的时候只要不断激活显示列表就可以。用这样的方法来绘制一个20个顶点的多边形需要调用40个函数：一个是调用glBegin()函数，然后调用函数绘制每一个顶点(即调用glVertex(x,y,z))，最后调用glEnd()。如果给每一个顶点一个法线向量的话，函数还会增加两倍。可以看出，用这样普通的方法显示数据，需要调用许多的函数，也就是存储在显示列表中的函数就很多，这样大大降低了性能。

用此方式来显示地形数据，优点是方法很简单易用，缺点是数据冗余量大，速度慢。

鉴于上述实现方式存在的缺陷，我们采用顶点压缩技术。将相关数据存储在顶点数组中，使用几个数组来指定大量与顶点相关的数据，如法线、颜色等，并且使用同样多的少许几个函数来存取数据。对于一个20个顶点的多边形，使用顶点数组函数，可以将这20个顶点放入一个数组，从而使用一个函数对其进行调用。如果每个顶点有其一个表面

法线，则可以将所有的 20 个表面法线放入另外一个数组，并且也用一个函数对其进行调用。如此，利用顶点压缩技术来完成显示，可以最大限度地减少调用库函数的次数，能大大提高显示速度和效率。具体步骤如下：

(1)创建数组。读出地形数据后，将数据放入一个数组或者几个数组。对数组的存取根据它们的内存位置(指向内存位置的指针)地址来进行。数组 DataArray 中的数据按($x1,y1,z1,x2,y2,z2,x3,y3,z3,\cdots$)形式存放。

(2)激活数组。最多可以激活 6 个数组，用于保存不同类型的数据：顶点坐标，RGBA 颜色，颜色索引，表面法线，纹理坐标或者多边形标志。

Void glEnableClientState(Glenmu array);

(3)使用顶点数据在三维环境中绘制地形。

glVertexPointer(3,GL_FLOAT,0,DataArray);

这里的意思指从 DataArray 数组中取数据，一次取一个点的三个数据坐标。

11.4.2 三维虚拟环境中的查询

系统提供了一套选择机制，可自动通知用户在窗口的某个特定区域里画出的是哪个物体。用户可以结合使用选择机制和特殊的使用程序来确定用户鼠标指定或拾取的是哪一个物体。

通常情况下，首先要将场景绘制到帧缓存中，然后进入选择模式重画场景。退出该模式，系统返回一列与视图体相交的图元。与视图体相交的每一个图元都会产生一个选中信息。图元列实际上是以整型值名称及相关数据(选中记录)的数组形式返回的。在选择模式下发送图元命令时，可以通过加载名称的方式来创建命名堆栈。基本步骤如下：

(1)用函数 glselectBuffer()记录选中返回的记录。

(2)将函数 glRenderMode()的参数设置为 GL_SELECT，进入选择模式

(3)用函数 glInitNames()和 glPushName()初始化名称堆栈。

(4)定义用于选择的视图体。通常此视图体与用于绘制场景的视图体不同，所以用函数 glPushMatrix()和 glPopMatrix()保存和恢复当前变换状态。

(5)交替发送图元绘制命令以及名称堆栈操作命令，为相交图元分配合适的名称。

(6)退出选择模式，处理返回的选择数据(选择记录)。

如前所述，命名堆栈构成了选择信息的基础。为了创建命名堆栈，首先需要用 glInt-iNames()命令对其进行初始化，简单地将堆栈清空，然后在发出相应的绘图命令时加上整型命名。堆栈操作命令可以将一个命名压入堆栈(使用 glPushName()命令)，也可以将一个命名弹出(使用 glPopName()命令)，或将命名替换为别的名称(使用 glLoadName()命令)。交替发送图元绘制命令的例子如下：

```
glBegin(GL_TRIANGLES);
    ......
      glNormal3f(nx1,ny1,nz1);
    glLoadName(i);
```

```
glVertex3f(x1,y1,z1);
glNormal3f(nx2,ny2,nz2);
        glVertex3f(x2,y2,z2);
    glNormal3f(nx3,ny3,nz3);
glVertex3f(x3,y3,z3);
glPopName();
……
glEnd();
```

作为选择过程的扩充,我们还可以利用选择模式来确定物体是否被拾取。要实现拾取操作,可以把一个特殊的拾取矩阵与投影矩阵相结合,将绘制限制在视区中一个小区域内,并且使该区域靠近光标。然后允许某种形式的输入,如按下鼠标键盘等,来初始化选择模式。在建立选择模式并使用了特殊的拾取矩阵后,在光标附近画出的物体就会产生选中记录。因此,在拾取过程中经常要确定哪个物体是画在光标附近的。

拾取通常是由输入设备激发的。如单击鼠标左键将激发拾取函数。在拾取中,需要利用实用程序 gluPickMtrix(),使特殊的投影矩阵与当前矩阵相乘。

```
glMatrixMode(GL_PROJECTION);
glPushMatrix();
glLoadIdentify();
gluPickMatrix(…);
gluPerspective();
…
glPopMatrix();
```

11.4.3 三维虚拟环境和矢量的叠加

三维虚拟环境主要以栅格形式表达,经常地,我们需要在三维虚拟环境中叠加上特征点、线、面等矢量形式图形,以辅助理解与分析。

三维表面坐标的记录方式是记录 DEM 的左上角的顶点的坐标(x,y)和记录每个网格的分辨率n(单位根据不同的坐标而不同,如果是高斯坐标则为米,经纬度为度)。通过这两个值和 DEM 的行列数就可以计算出 DEM 中任何一个网格的具体的坐标。矢量的坐标记录方式是记录每一个点的坐标(x,y),因为无论是面、线还是点的矢量数据归根结底是由点组成的;另外,矢量图形文件中会有一个边界盒的记录,即记录这个矢量图形的最大边框(记录左上角和右下角的坐标)。

栅格图层和矢量图层的叠加原理如下:先比较要进行叠加的栅格图层和矢量图层的边界大小,以大的边界作为最终显示的图的边界;因为矢量图层上的每一点都有自己的坐标(x,y),根据这个坐标和图层的边界,每一点都可以在最终显示的图上找到对应位置。以图中第一个点(x_0,y_0)为例来说明。

首先,比较栅格图层和矢量图层的边界大小。矢量图层的边界是(x_1,y_1),(x+n * cols,y+n * rows);栅格图层的边界是(x_3,y_3),(x_4,y_4),假设得到的结果是栅格图层的

边界大于矢量图层的边界，则以矢量的边界作为最终显示的边界（x_{min}，y_{min}），（x_{max}，y_{max}）。

其次，计算（x_0，y_0）在最后叠加好的图中的位置，即行列数 yrow，xcol。方法为：

$$|(x_0 - x_{max})|/|(x_{max} - x_{min})| = (cols - xcol)/cols;$$

可得

$$xcol = cols(1 + (x_0 - x_{min})/(x_{max} - x_{min}));$$

同理可得

$$yrow = rows(1 + (y_0 - y_{min})/(y_{max} - y_{min}));$$

如此，在显示矢量图层的时候，（x_0，y_0）点的坐标就是（xcol，yrow）。以此类推矢量图层中所有点。

最后，把栅格图层和矢量图层的行列数坐标统一转为屏幕坐标显示，则实现了叠加显示。转换公式如下：

$$xpixel = (x_{min} \times rectView.Width())/(x_{max} - x_{min}) + rectView.left;$$

$$ypixel = (y_{min} \times rectView.Height())/(y_{max} - y_{min}) + rectView.top;$$

其中 rectView 为屏幕上显示地图的视图。

应该说到这里为止叠加的工作就结束了。但在三维环境中，还有一个问题，即矢量数据没有高程或相应物理属性。解决问题的方法是从和它叠加的三维表面中去取，如图 11－19。

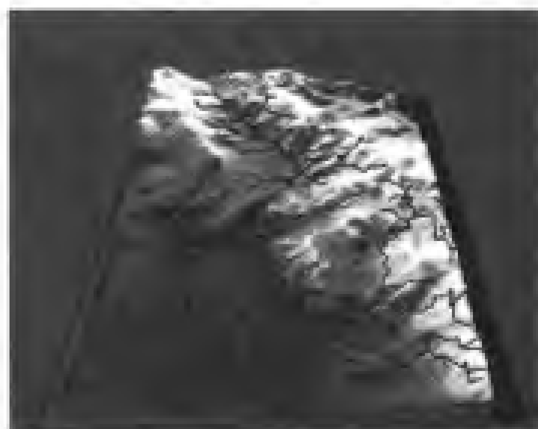


图 11－19　DEM 数据和矢量数据的叠加效果图

11.5　单点时间序列过程曲线分析

过程曲线是指在一个测点上，某种海洋要素（如温度、盐度、密度等）随时间变化的一条曲线。其主要作用是能直观表达海洋要素随时间的变化规律，并将各种相关联的海洋现象绘于相同的图中进行比较，从而有利于规律分析。另外，还可利用该工具来进行某些资料序列的插补、订正或外延。

系统根据实际需要开发了单要素、综合、动态等过程曲线，可自动从原始数据中统计并绘制日、月、年、多年的各类过程曲线（见图 11－20、图 11－21）。各类过程曲线表达方式不同，但实现上基本相同：

（1）抽取数据。从数据库中抽取当前要生成过程曲线的某日、某月、某年或多年的数据。该过程利用系统开发数据查询语言实现。

（2）绘制坐标系统。根据当前所取数据及要生成的过程曲线类型，绘制坐标系统，如确定刻度间隔等。

（3）绘制曲线。在绘制前，先进行插值，以保证曲线的平滑，过程曲线的平滑采用阿基马插值方法实现的。

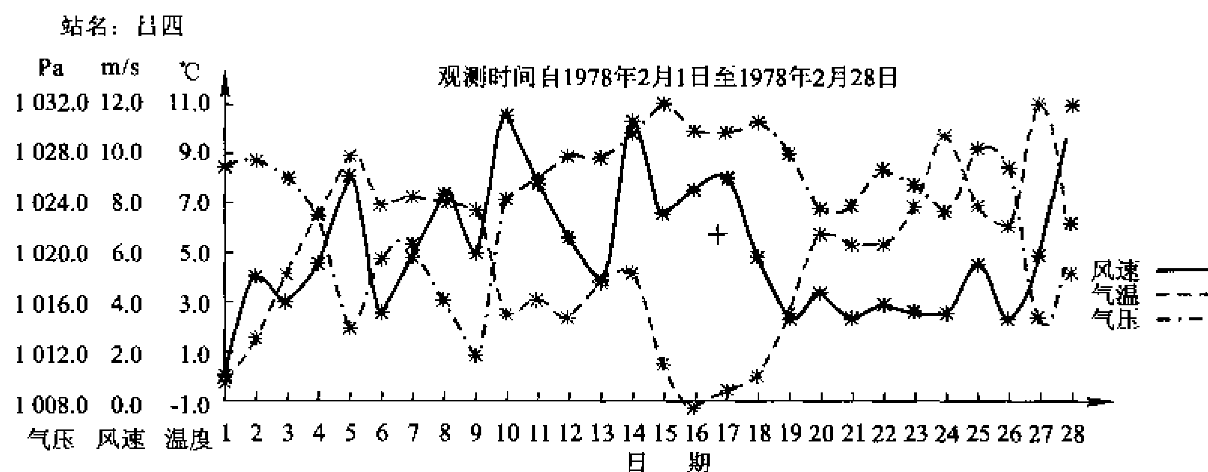


图 11-20 综合过程曲线图

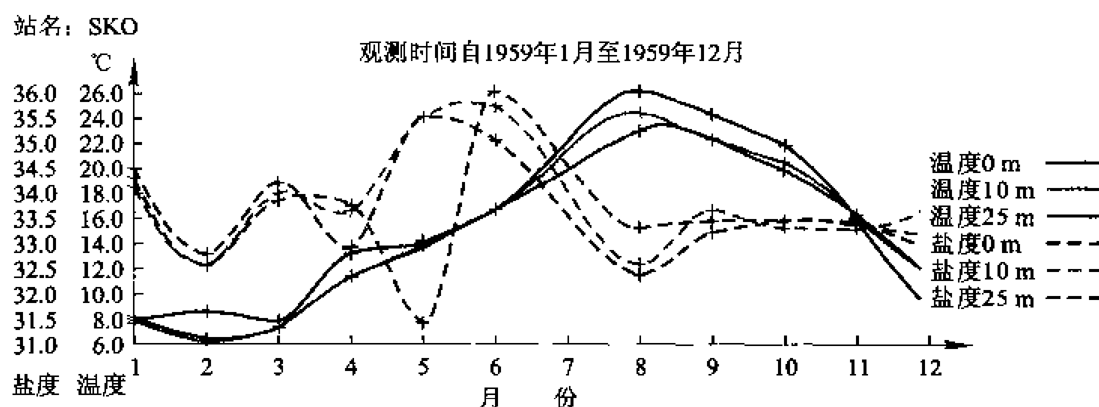


图 11-21 断面过程曲线图

11.6 纵深测量数据分析

海洋船测数据是一种重要的海洋调查数据，为了研究海洋规律，需要把这些调查的数据以直观图形图像的方式表达出来如图 11-22，使研究者能清楚看出现象的全貌和本质。断面分布图是海洋要素空间的分布图，它对海洋科学工作者的研究起着非常重要的帮助。

11.6.1 海洋要素断面分布图

海洋要素断面分布图是将观测到的某一个面上（平面或断面）的要素值，填在相应的空间坐标系中，然后以内插法绘制等值线。其数据源是一次或多次船测的断面数据。绘制断面分布图的重点和难点是如何内插和绘制等值线，本系统的实现方法是：在每一个船测点上，根据海洋要素的分布特征，先纵向内插，内插间隔可根据具体情况而定，可取每 1 m 或每 5 m 内插间隔。内插的方法是有限定条件的距离反比内插。

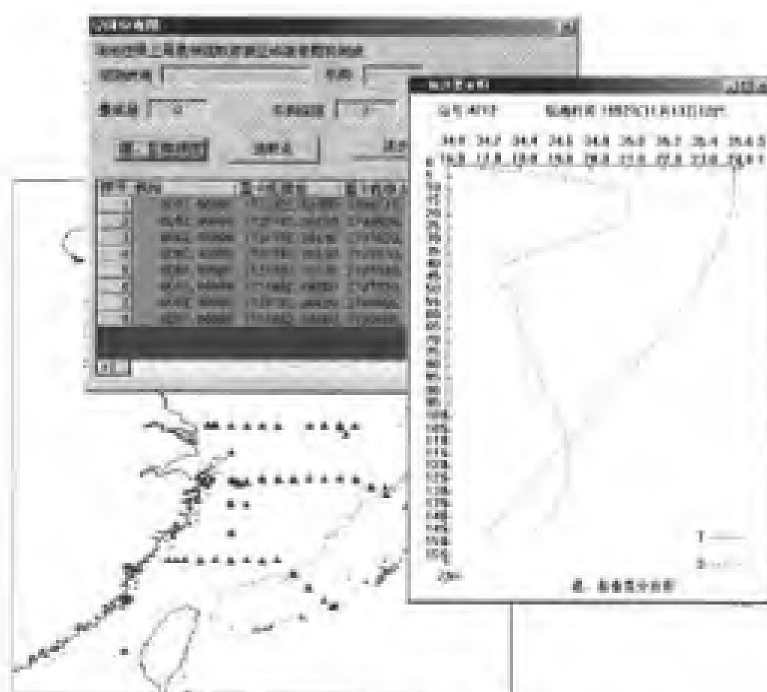


图 11－22　测点数据选择和分析图绘制

由于船测点之间的距离比较远，若这样直接生成等值线，结果可能会偏离实际的分布（尤其是在等值线平滑时），因此在水平方向，在每两个船测点间都插入一定数目的虚拟测点，并用上面的方法进行纵向内插。

每一个等值线所经过的点其实就是该值在该测点铅垂线上的深度，作为等值点的 Y 坐标，再把该测点的相应位置作为 X 坐标，就构成了一个实际的空间点，并保存在一个数组中，最终把这些点连成线，就构成了一条等值线。

等值线的平滑处理。等值线生成之后，由于各个点间距比较大，等值线看上比较粗糙，必需经过平滑处理之后，才能形成比较平滑的曲线。经过测试和检验，本书最终选择阿基马（Akima）插值法。该方法光滑性较好，且误差也比较小（如图 11－23）。算法请参阅第 5 章。

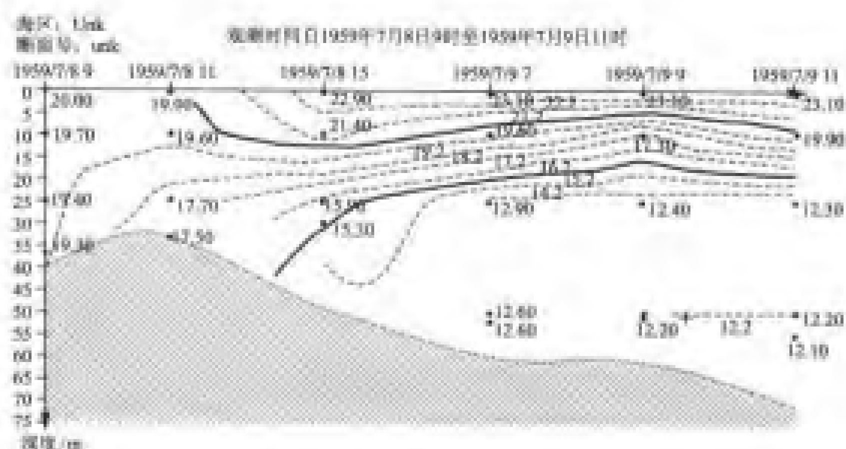


图 11－23　海温断面分布图

11.6.2 垂直剖面的生成

在三维虚拟环境中利用鼠标画切割线，通过绘制这条线来记录一系列有用的信息，为剖面的绘制提供相关的数据。实现方法如下：

首先，通过选择机制得到绘制这条直线的两点的经纬度(x_1, y_1)，(x_2, y_2)。

其次，根据此两点做直线，求出直线与船测点数据边界的交点，并记录直线段的坐标。

然后，进行剖面绘制。由于船测点数据是离散的点状数据，在正好割线上的数据也是相当有限，这样必然会影响剖面绘制的效果。因此在绘制前必须对数据进行插值处理。思路大致如下：从确定的直线段的某一端点开始沿直线偏移一定量，计算出偏移后的插值点的经纬坐标。然后，在各个断面层上搜索最近的若干点进行距离反比插值，将求得的船测的数据保存在数组中。再用三角面绘制则可获得图 11－24。

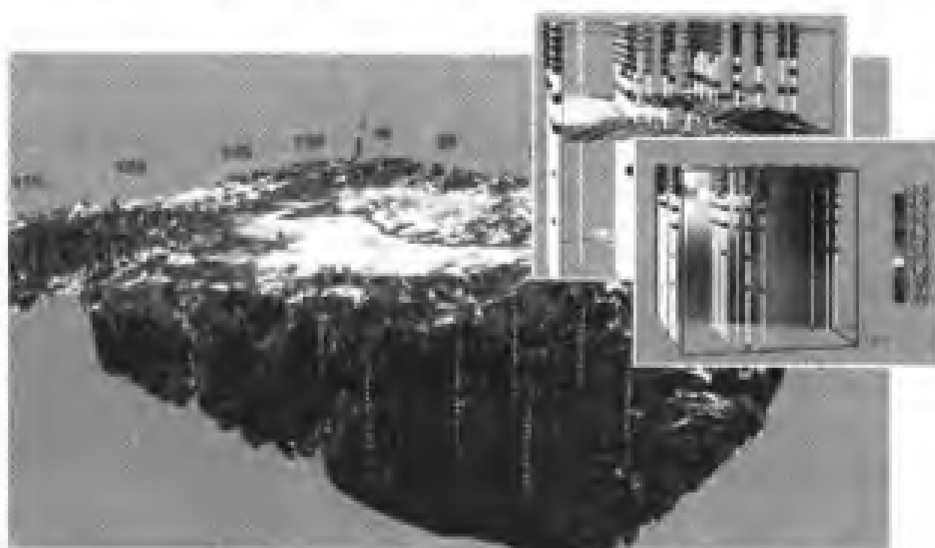


图 11－24 地形、测点数据与剖面分析

11.6.3 水平剖面的实现

水平剖面的实现，大致与垂直剖面的实现相一致。当指定一深度值时，在已读入的船测点数据中，抽取在指定断面上的数据，并存储在一个数组中。然后将所获得的数据，用距离反比插值。最后绘制三角面。插值后的数据进行等值线生成。

11.7 模型集成与三维动态可视化

海洋数据的特点是数量大，种类多而复杂。但传统浏览数据的方式却非常单一，一般都用写字板直接打开或用 Excel 或 Access 直接打开操作，对数据的特征不能马上有一个感性的认识，由此需要动态可视化。

11.7.1 矢量场动态

1. 原理

风场文件按帧存放，每一帧的风力数据在前，风向数据在后。因此系统中风力数据用栅格方法来显示，以颜色不同来表示风力的大小，以箭头来表示风向，箭头的长度表示风力大小。

为了存储矢量数据，设计了一个类 CArrow 存储数据。

```
Class Carrow
{
    double dValue;
    double dDirection;
}
```

dValue 表示风力，而 dDirection 表示风向。

2. 实现过程

(1)数据读取。打开文件后，将根据行列数分配相应的内存用来存储风力和风向数据，并且读入第一帧数据。因为每一帧的行列数都是一样的，所以只要分配一次就可以了。

(2)数据的显示。根据窗口的大小和行列的大小自动设定缩放比例，然后绘制到窗口中(如图 11-25)。栅格数据利用贴图的方式，矢量数据调用类 Carrow 的绘图函数。

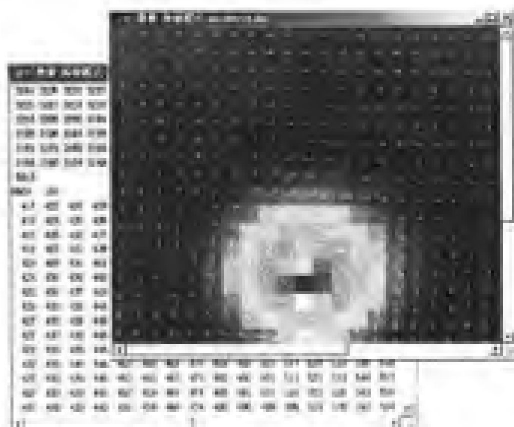


图 11-25 风场存储矢量数据

(3)动态播放。设定时间控制器，设定前后两帧的播放间隔。当要读取某一帧时，定位到要读取的部分的位置，然后把数据读到一开始设置的内存中，那么内存的数据已经被新的一帧所覆盖了。这时只要刷新窗口，调用重绘函数，窗口将显示新一帧的内容。

(4)界面控制和当前信息。如图 11-26 所示，在界面中的工具条完成对播放进行调整和控制，并即时显示当前播放的帧信息。

播放间隔: 200 毫秒 当前帧:1 总帧数:110 日期:86年9月 1日 00时

图 11-26 控制界面和状态信息

3. 功能特点

利用这一动态播放技术，能够直观清楚地观察海浪或风场等动力数据随时间的变化情况和变化趋势，为海洋管理决策服务。

11.7.2 动态三维

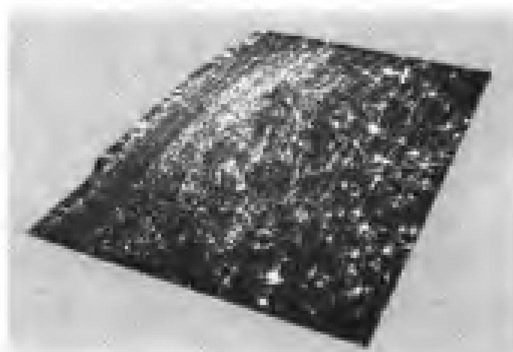


图 11-27 一帧海浪数据

动态三维的数据组织是在前面三维场景的建立基础上，由一组静态的三维场景组成。因此一帧的三维动态数据的显示方法和一般的栅格数据的显示方法是一样的。一帧动态数据从文件读进来以后，通过一定的组织方式，把数据组织成普通的栅格显示数据，按照三角网或者四角网的方式在 VR _ GIS 环境中显示（如图 11-27），如此一帧一帧的数据按照一定的时间间隔显示即可完成过程的动态可视化。

如上所述，具体的实现方法步骤如下：

(1)读入三维动态数据。将数据组织成静态三维场景数据的组织方式，将各个顶点数据、顶点法线等分别存储在相应的数组中。

(2)将第一帧的数据在屏幕上显示出来。

(3)利用 WINDOWS 的提供的消息 WM _ TIME 时钟，间隔一定的时间段调用下一帧数据，并将其数据分别存入数组中，然后循环调用步骤(2)。

通过此种方式的组织实现了动态三维和静态三维组织方式的统一化，有利于后期进一步分析研究。

第 12 章　遥感监测模块的集成

集成往往涉及跨平台的工作，由此必须充分运用混合编程技术，强调平台与模块的质量控制，防止在集成过程中发生数据类型或文件格式不兼容现象的产生，以保证集成后运算的顺畅，保证每一操作的输入与前一操作的结果在数值的时间、空间、属性上的量及其精度是一致的。

12.1　概　述

MaXplorer 软件平台是具有自主知识产权的大型通用海洋地理信息系统软件。该软件在多维动态海洋数据组织与管理、操作与可视化分析、海洋数据的时空过程分析与可视化等关键技术上实现了突破，为海洋多维动态过程数据的分析和应用提供了通用平台。MaXplorer 软件平台采用组件开发模式，为专业海洋分析应用模块的集成提供前提。专业海洋分析应用模块针对某一个专题或某一领域进行深入研究，在海洋信息的具体应用技术方面取得关键性的突破。专业海洋分析应用模块的集成实现 MaXplorer 软件平台的通用性和专业性的统一。专业海洋分析应用模块主要包括：赤潮监测模块、SAR 水下地形反演模块、水上舰船检测模块、海雾监测模块、多源海洋遥感信息融合与同化模块和巨浪反演模块参见表 12-1。MaXplorer 软件平台对专业应用模块集成的关键技术分述如下。

表 12-1　参加总体集成的基础平台和遥感模块

编号	系统名称	示范区	功　能	负责单位	备　注
1	系统集成环境	福建 渤海	集成系统运行管理	中国科学院地理科学与资源研究所	以 VC++语言开发，界面采用 GIS 应用软件风格，具有综合管理和部分处理分析功能
2	海雾遥感监测模块	福建 渤海	反演海雾信息	中国海洋大学	以 VC++语言开发，与系统集成环境实现 DLL 连接
3	巨浪遥感监测模块	福建 渤海	巨浪监测和反演	中国科学院海洋研究所	以 VB 语言开发，与系统集成环境实现 DLL 连接
4	赤潮遥感监测模块	渤海	赤潮信息提取	国家海洋环境监测中心	在 IDL 环境下进行数据预处理，以 VC++语言开发
5.1	水面船只监测模块	福建 渤海	提取水面船只信息	国家海洋局第一海洋研究所	以 C 语言开发，与系统集成环境实现 DLL 连接
5.2	水下地形探测模块	福建 南沙	探测强流区水下地形	国家海洋局第一海洋研究所	以 C 语言开发，与系统集成环境实现 DLL 连接
6	多源海洋遥感信息融合与同化模块	渤海	同化生态参数	中国海洋大学	以 FOTRAN 语言开发，以文件传输参数方式集成

12.1.1 巨浪监测模块

包括高度计的海浪观测数据，微波散射计的风场数据及其推算的海洋数据，SAR 的海浪观测数据，三者均有相关的海浪提取流程，并在三者之间展开相互校验。

高度计数据可以直接读取，微波散射计需要进行相应的推算，而 SAR 的海浪信息提取也需要有算法支撑。

12.1.2 海雾监测模块

使用 L1b 的 GMS 数据或 NOAA 数据，数据格式固定。

信息提取算法部分需要精练成单独的子模块。

基于 WIN98 操作系统开发，需要移植到 WIN2000 的 NT 操作系统。

12.1.3 水面船只、水下目标、水下地形（岛礁）信息提取

水面船只监测使用 SAR 或高分辨率的可见光遥感影像，水下目标和水下地形信息提取使用 SAR 影像。

三个模块在整体上相对独立，对相应的数据输入输出可以进行整合。

12.1.4 赤潮遥感监测模块

使用 L1b 的 NOAA 或 MODIS 遥感影像，对数据的预处理，尤其是大气辐射校正要求很高。

由于需要较高的数据预处理工作，需要外部软件环境支持，例如遥感处理软件，IDL 运行环境等。同时有数据管理需求，需要对赤潮信息库进行管理。

12.1.5 多源海洋遥感信息融合与同化模块

该模块的主要功能是从观测数据、初始流场数据、遥感叶绿素表层数据和遥感 SST 表层数据，同化出海洋垂向各层的叶绿素浓度数据、垂向各层的营养盐浓度数据、垂向各层的悬浮动物浓度数据和垂向各层的碎屑浓度数据。

12.2 集成总体结构

以海洋地理信息系统软件 MaXplorer 为初始平台，补充部分数据输入输出、数据库管理、数据预处理、数据处理分析、结果可视化等功能，以各模块的信息提取算法为应用算法，实现基于数据流的总体集成。总体结构设计如图 12－1 所示。

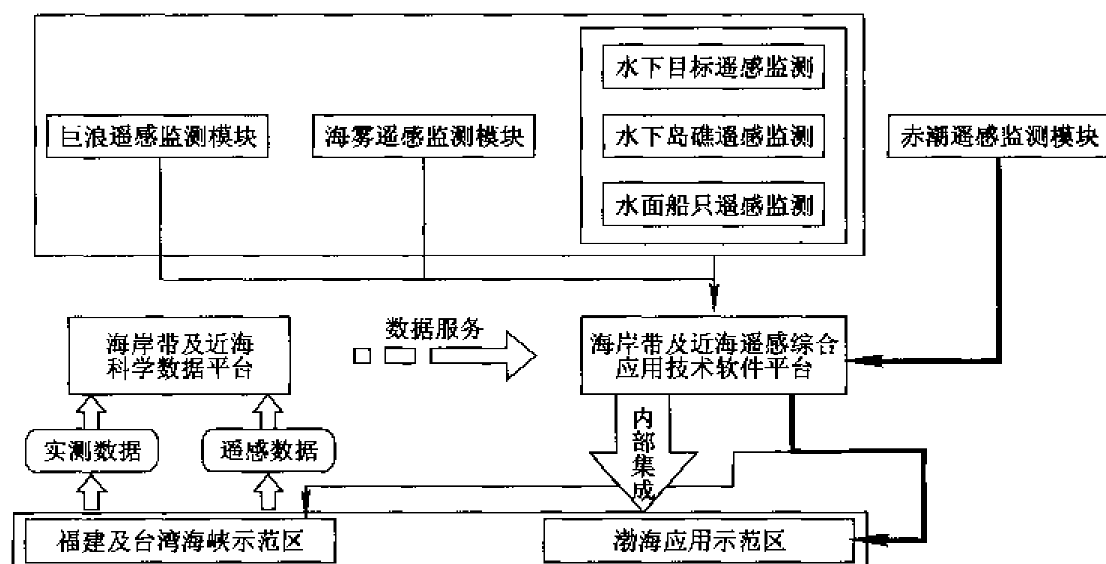


图 12-1 集成系统总体结构

12.3 赤潮监测模块

12.3.1 总体功能

赤潮监测模块的总体功能是从 NOAA-1B 和 MODIS-1B 遥感影像数据中，利用各种参数指标：温度、叶绿素浓度、NDVI 数据、悬浮物质浓度、悬浮有机物浓度、悬浮无机物浓度等提取海洋海岸带灾害赤潮现象。

12.3.2 集成模式

在 MaXplorer 软件平台下，采用调用 IDL 各个过程文件（*.pro）的方式来调用赤潮监测模块，其集成界面窗口如图 12-2 所示。

12.3.3 集成过程

(1)把赤潮监测模块的各个过程文件（*.pro）和需要的资源文件包括（*.bmp 文件、说明型文件、*.bak 文件和 *.dlm 文件）copy 到 MaXplorer 系统的当前目录下；

(2)在 IDL 编译环境下，在 863redtide.pro 过程中增加 VCInitIDL 子过程，该过程的主要功能是初始化 VC 的编译环境，进行 VC 环境和 IDL 环境的连接；

(3)把 IDL 语言需要的 dll 重新整理成一个文件夹 idl，并把该文件夹 copy 到 MaXplorer 系统的子目录下，然后在 VC 代码中设置这个路径：m_IDLDrawWidget.SetIdlPath("Redtide/bin/bin.x86")；//设置 idl 的路径

(4)在系统平台 MaXplorer 环境下，修改 VC 代码并进行调用：

if(m_IDLDrawWidget.GetSafeHwnd()==NULL)//判断是否已经创建 Widget，false，创建；true，销毁；

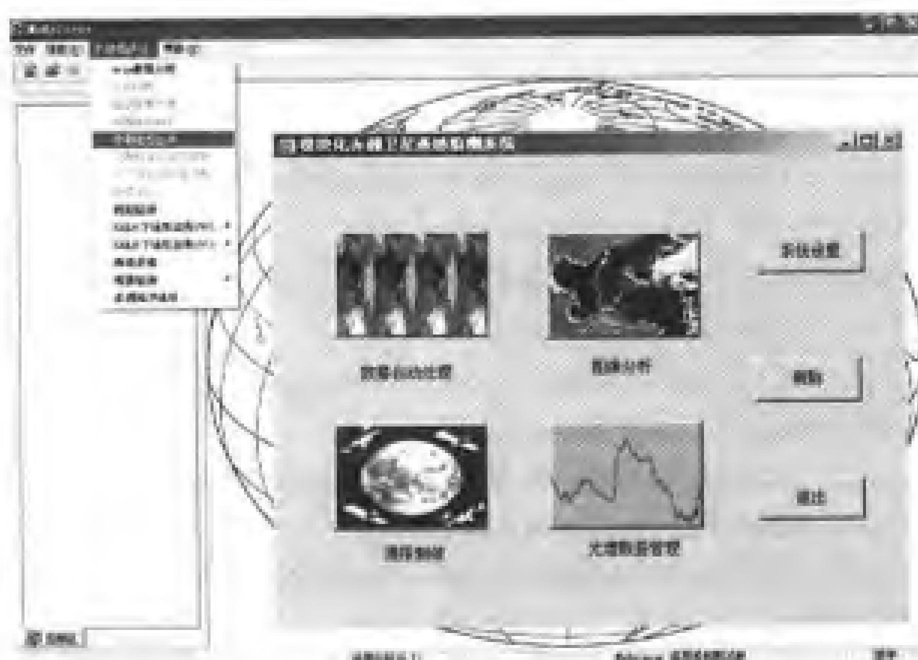


图 12-2 MaXplorer 集成赤潮模块界面

```
{  m_IDLDrawWidget.Create("",WS_CHILD,CRect(0,0,1,1),this,1000,
NULL);}
  else
  {
      m_IDLDrawWidget.DestroyDrawWidget();
      //m_IDLDrawWidget.Create("",WS_CHILD,CRect(0,0,1,1),this,10000,
      NULL,false);
  }
  m_IDLDrawWidget.SetIdlPath("Redtide/bin/bin.x86");        //设置 idl 的路径
  m_IDLDrawWidget.InitIDL((long)m_hWnd);                    //初始化句柄
  CString strCommand;
  strCommand=CString(".Compile Redtide/Color24.pro");
  m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
  strCommand = CString(".Compile Redtide/Colorbar.pro");
  m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
  strCommand = CString(".Compile Redtide/Redtide.pro");
  m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
  strCommand = CString(".Compile Redtide/SHOWPROGRESS__DEFINE.PRO");
  m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
  strCommand = CString(".Compile Redtide/Spectrum.pro");
  m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
  strCommand = CString(".Compile Redtide/Xcolors.pro");
```

```
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/Xstretch.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/about.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/autoinput.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/automodis.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/imagelocation.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/imagemain.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/imageprocess.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/imageprocess_eventcb.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/imageroi.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/inputfy1b.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/inputmodis.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/inputn1b.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/modis_value.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/modislinearin.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/noaa_plot.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/noaafunction.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/output_value.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(".Compile Redtide/pararead.pro");
m_IDLDrawWidget.ExecuteStr(strCommand);
```

```
strCommand = CString(". Compile Redtide/pickcolor. pro");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(". Compile Redtide/redtide_eventcb. pro");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(". Compile Redtide/rgbstretch. pro");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(". Compile Redtide/spectrum_eventcb. pro");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(". Compile Redtide/spectrumdisplay. pro");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(". Compile Redtide/spectrumsaveas. pro");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(". Compile Redtide/testmod. pro");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(". Compile Redtide/theme. pro");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(". Compile Redtide/tvimage. pro");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
strCommand = CString(". Compile Redtide/redtide");
m_IDLDrawWidget. ExecuteStr(strCommand);
m_IDLDrawWidget. SetOnInit("VcInitIDL");  //设置连接
long i = m_IDLDrawWidget. CreateDrawWidget();
if (i <= 0)
{        AfxMessageBox("创建 IDL 出现错误!");    return;  }
```

12.3.4 数据处理流程

数据处理流程图如图 12－3 所示。

12.3.5 数据输入模块

(1)数据的输入是 NOAA-1B 和 MODIS-1B 遥感影像数据,该数据的格式是标准的 1B 数据格式。

(2)目前仅有的试验数据是 NOAA-1B 数据,MODIS-1B 数据目前没有提供。

(3)NOAA-1B 数据能够在 ENVI 软件下可视化。

12.3.6 数据处理模块

(1)数据格式转换、数据模式的提取和赤潮模式的提取均是开发者自行设计。

(2) *. dat 的文件存储格式为:head 文件＋数据块的格式存储,如图 12－4 所示。

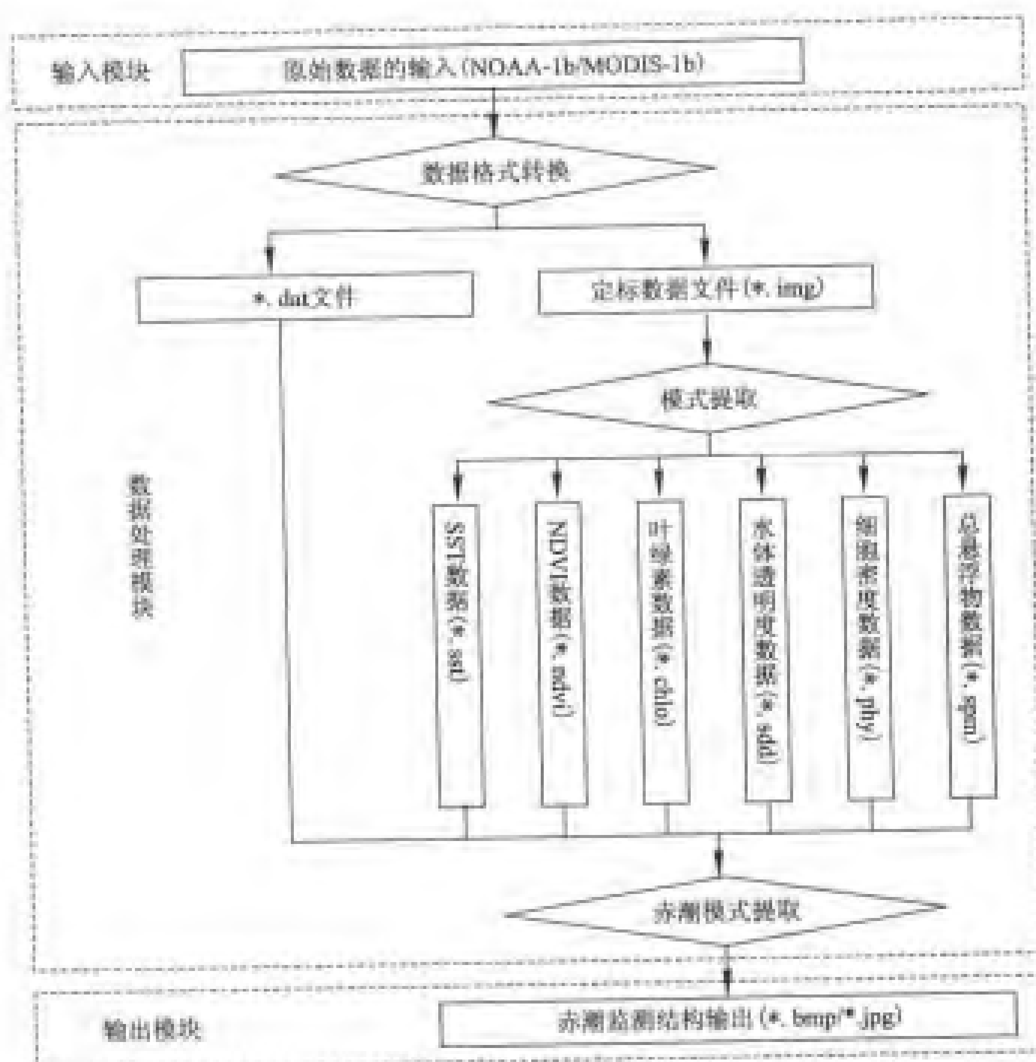


图 12-3　赤潮监测模块处理流程图

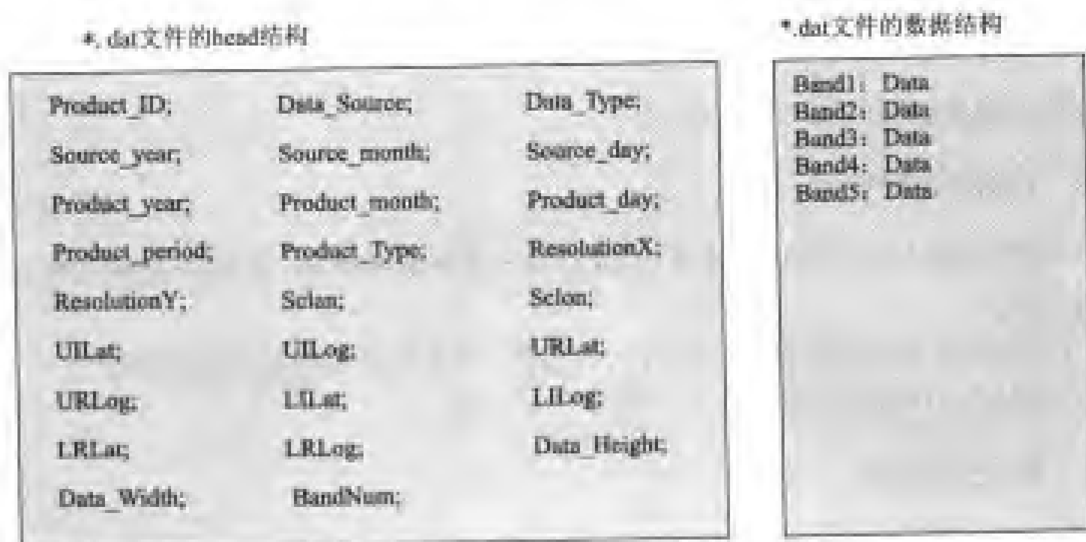


图 12-4　dat 文件的数据结构

（3）*.img 数据是定标后的数据，其数据存储格式为：head 文件＋数据块的格式存储，如图 12－5 所示。

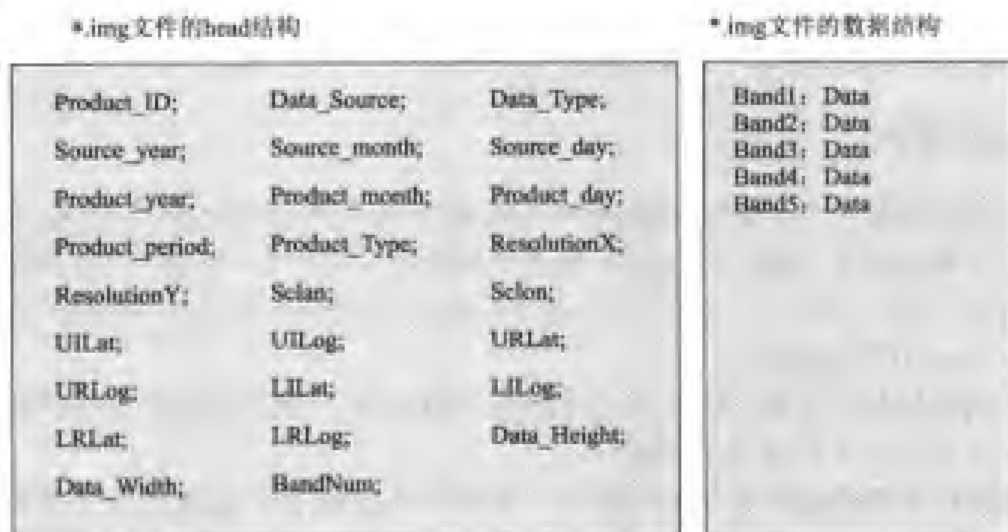


图 12－5　img 文件的数据结构

（4）SST 数据、NDVI 数据、叶绿素数据、SDD 数据、phy 数据和 spm 数据是由 img 数据生成的中间数据，其数据存储格式同 dat 文件和 img 文件格式；

（5）dat 文件、img 文件和 sst 文件、NDVI 文件、叶绿素数据文件、SDD 数据文件、PHY 数据文件 spm 数据文件在该模块中均能够可视化。

12.3.7　数据输出模块

数据输出文件可以是 jpg 格式、也可以是 bmp 文件格式，有用户进行选择。

12.3.8　其他说明

（1）该模块开发语言是采用 IDL 开发；

（2）试验区范围主要是针对渤海区域进行，其他区域其赤潮模式提取不同；

（3）目前该模块只有 NOAA-1B 试验数据，没有 MODIS-1B 试验数据。

12.4　水下地形反演模块

12.4.1　总体功能

SAR 水下地形反演模块的基本功能是利用 SAR 遥感影像数据，根据 POM 数值模式进行水下地形模拟和逼真。该模块包括 6 个子模块，分别是：潮流潮汐计算模块、灰度仿真模块、融合模块、调和分析模块、插值子模块和水下地形反演模块，其中潮流潮汐计算模块主要根据原始水深文件和开边界调和常数生成时间序列的潮位文件和 SAR 成像

时刻的U、V流速分量；灰度仿真模块完成SAR影像的仿真计算；融合模块是把仿真的SAR影像和原始遥感SAR影像进行融合；调和分析模块的主要功能是根据时间序列潮位文件生成调和常数；插值模块实现空间上的插值，弥补数据的不足；水下地形反演模块根据各个模块的结果反演水下地形，生成水深文件。

12.4.2 集成模式

(1)该模块包括6个子模块：潮流潮汐计算模块、灰度仿真模块、融合模块、调和分析模块、插值子模块和水下地形反演模块，每个子模块都对应一个exe的可执行程序，分别是：pom97-0-3.exe、hui.exe、gray in.exe、harmonic analysis-03.exe、main.exe 和 optim12CH1.exe(开发者提供)；

(2)对其中的灰度仿真子模块、融合子模块、调和分析子模块和数据反演子模块重新编译成dll文件-SarDLL(集成者提供)；

(3)集成模式采用两种模式进行集成：一种是在MaXplorer系统平台下直接调用子模块的exe文件，另一种是在MaXplorer系统平台下调用dll文件中的函数来实现系统功能。

(4)由于该模块包括6个子模块，每种集成模式都要包括6个过程，图12－6和图12－7分别给出了水下地形反演的模块exe的集成模式和dll的集成模式。



图12－6 MaXplorer调用SAR水下地形反演模块(exe模式)

12.4.3 集成过程

(1)把6个子模块的exe可执行文件和生成的SarDLL文件copy到MaXplorer系统平台的根目录下。

(2)把6个exe可执行文件的需要的数据文件：水深文件(*.dat)，边界调和文件(*

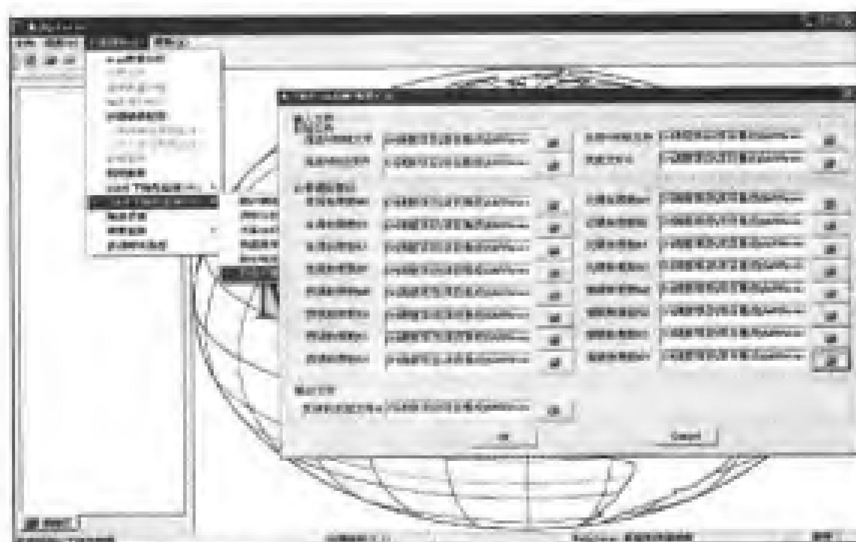


图 12-7　MaXplorer 调用 SAR 水下地形反演模块(dll 模式)

.dat)和 SAR 影像原始文件(*.dat)copy 到 MaXplorer 系统平台的根目录下。

(3)在 MaXplorer 环境下分别编译来调用 exe 文件和 dll 函数。

12.4.4　数据处理流程

数据处理流程图如图 12-8 所示(开发者提供)。

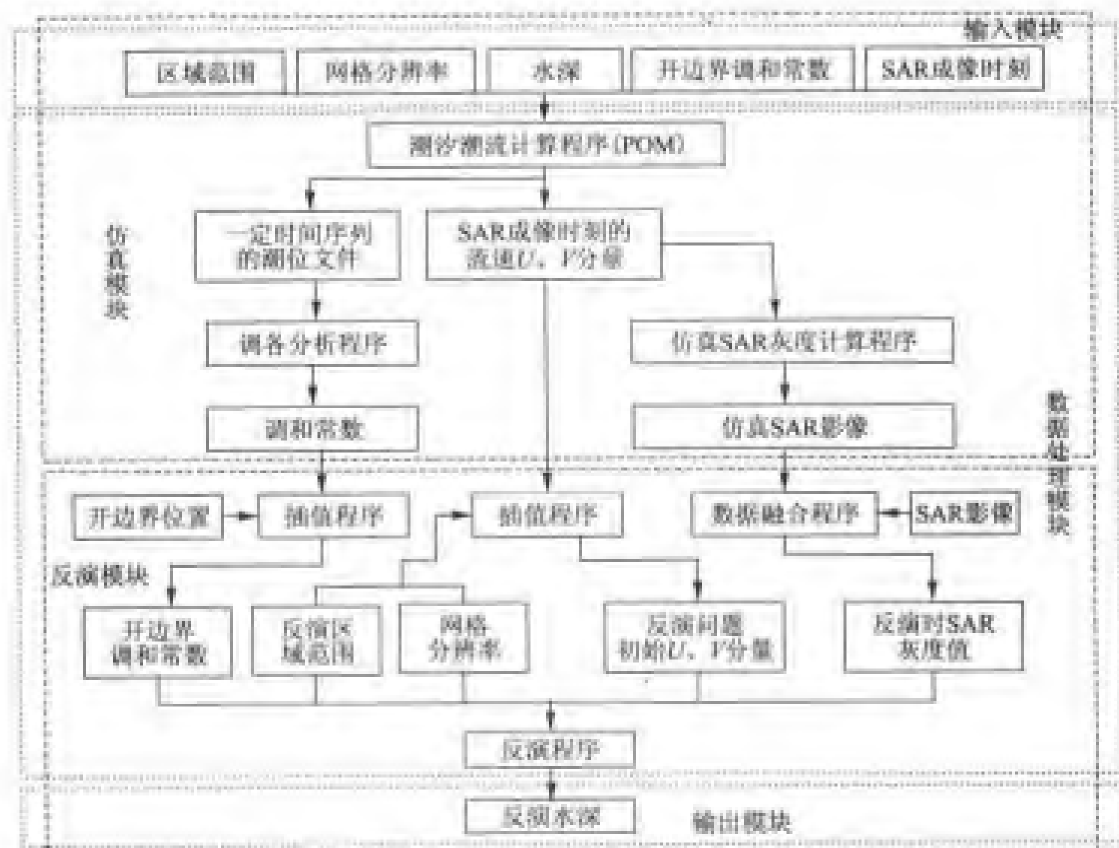


图 12-8　SAR 水下地形反演模块处理流程图

12.4.5 数据输入模块

(1)区域范围和网格分辨率可以由用户从键盘输入。

(2)水深文件(*.dat)是裸数据,其格式如图 12-9 所示。

(3)开边界调和常数文件(*.dat)是裸数据,其格式如图 12-10 所示。

(4)SAR 影像文件(*.dat)是以二进制的格式存储,并可以进行可视化,其可视化如图 12-11 所示。

```
1959 1979 1979 1820 1659 1594 1559 1543 1546 1578 1597 1579
1534 1450 1383 1378 1335 1303 1285 1241 1196 1135 1099 1071
1041  996  920  838  756  705  660  584  517  423  365
 400  497  642  802  938 1062 1898 1915 1900 1769 1656 1601
1565 1536 1527 1557 1573 1530 1486 1441 1459 1391 1258 1176
1155 1101 1050 1009  983  959  920  874  756  640  532
 490  492  412  326  211  209  288  420  615  809  965
1095 1831 1799 1763 1685 1647 1648 1603 1565 1550 1548 1529
1456 1399 1348 1425 1326 1127  966  939  897  838  821
 815  796  752  674  562  447  357  267  236  119   26
  43   66  165  369  595  852  990 1099 1751 1697 1678 1672
1719 1772 1692 1583 1537 1505 1481 1420 1343 1292 1271 1171
 993  811  747  691  600  577  599  612  547  476  373
 255   85   25   16    6    1    2    9  134  373  573
```

图 12-9 初始水深文件

```
27.38542   -10.52970
27.38321   -10.53074
27.38099   -10.53177
27.37878   -10.53279
27.37656   -10.53381
27.37434   -10.53483
--------------------------
27.36990   -10.53688
27.36768   -10.53790
27.36540   -10.53898
27.36309   -10.54008
27.36078   -10.54119
27.35847   -10.54230
```

图 12-10 边界调和常数文件

12.4.6 数据处理模块

(1)潮汐潮流计算程序采用 POM 模式。

(2)调和分析、插值程序、融合程序、灰度值仿真程序和反演程序是由开发者自行设计。

12.4.7 数据输出模块

数据的输出(*.dat)以二进制的格式进行存储,在 sufer7.0 软件下能够进行可视化,其可视化图如图 12-12 所示。

12.4.8 其他说明

(1)该模块的开发语言是 Visual Fortran6.0。

(2)目前实验数据只有一套。


图 12-11　SAR 原始影像


图 12-12　反演的水深文件

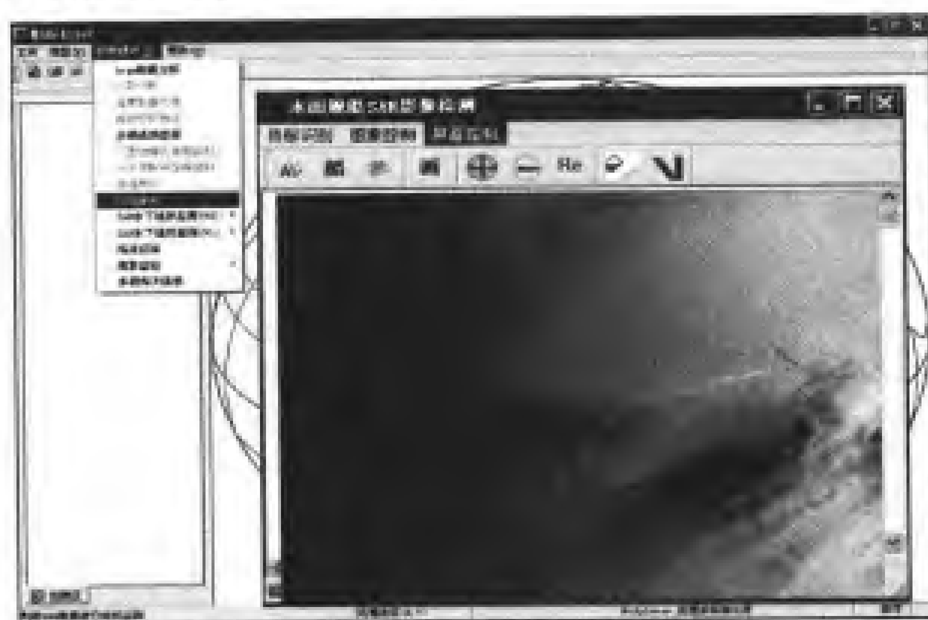
12.5　水上舰船监测模块

12.5.1　总体功能

该模块的主要功能是根据遥感 SAR 影像数据来监测水上舰船，并能够分析出舰船所在的空间位置和舰船的长度、宽度等基本参数。

12.5.2　集成模式

在 MaXplorer 系统平台下直接调用其 exe 模式，即直接调用 ShipDec. exe 文件。在 MaXplorer 下的集成界面如图 12-13 所示。


12-13　MaXplorer 调用水上舰船监测界面

12.5.3 集成过程

(1)把 ShipDec. exe 模块执行文件和相关文件 copy 到 MaXplorer 根目录下。

(2)在 Visual C++6.0 编译环境下，编译代码。

12.5.4 数据处理流程

数据处理流程如图 12-14 所示。

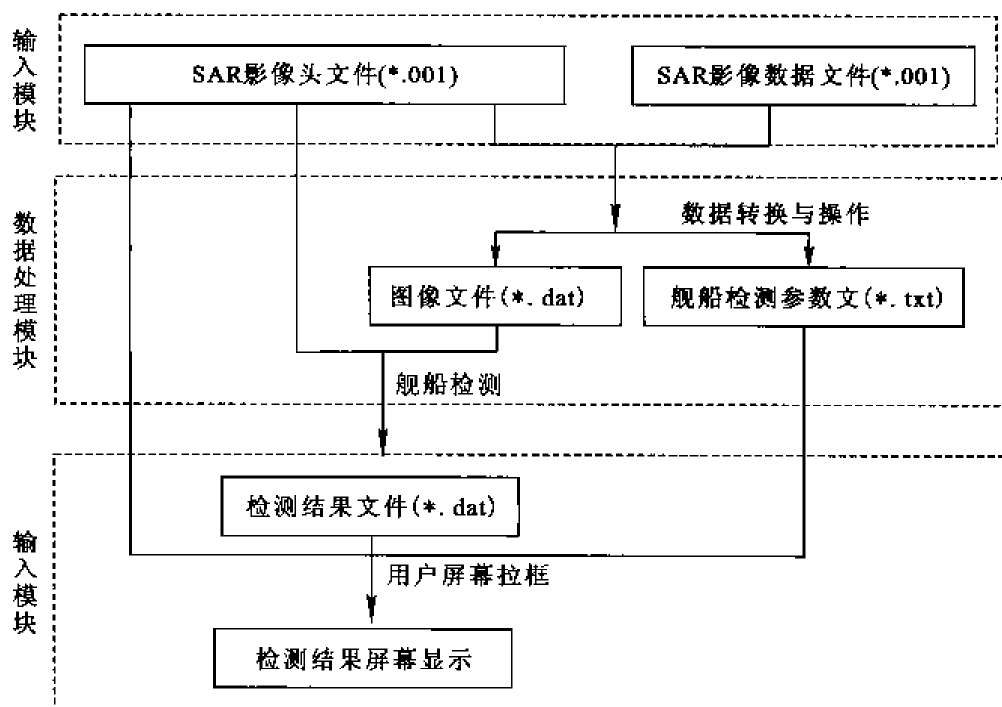


图 12-14 数据处理流程

12.5.5 数据输入模块

(1)SAR 影像的头文件格式和数据文件格式均是 001 文件的标准格式，是以二进制的格式进行存储。

(2)SAR 影像的头文件在 ENVI 软件下看到的内容如图 12-15 所示。

12.5.6 数据处理模块

(1)数据转换与操作和舰船检测操作都是由开发者自行设计。

(2)转换生成的图像文件格式(*.dat)，在该模块中能够进行可视化，其可视化效果如图 12-16 所示。

(3)生成的舰船检测参数文件格式为(*.txt)，主要功能是用来进行后面的舰船检测。

File Descriptor Record	
Record Info [1 63 192 18 18 720]	
Data Format (A = ASCII)	A
Format Control Doc.	CEOS-SAR-CCT
Format Control Doc. Version	B
Record Format rev.level	B
Software ID	E-SAR-ACS-02
File Number	1
FileName	ERS2.SAR.PRILEAD

图 12－15　SAR 影像头文件结构



图 12－16　转换的图像文件

12.5.7　数据输出模块

模块的输出可以有两种类型：

(1)一种是在屏幕上直接显示出舰船位置的参数，如图 12－17 所示。

(2)另一种是以二值图像的形式显示，图像文件的格式是(＊.dat)，如图 12－18 所示。



图 12－17　屏幕显示的位置参数

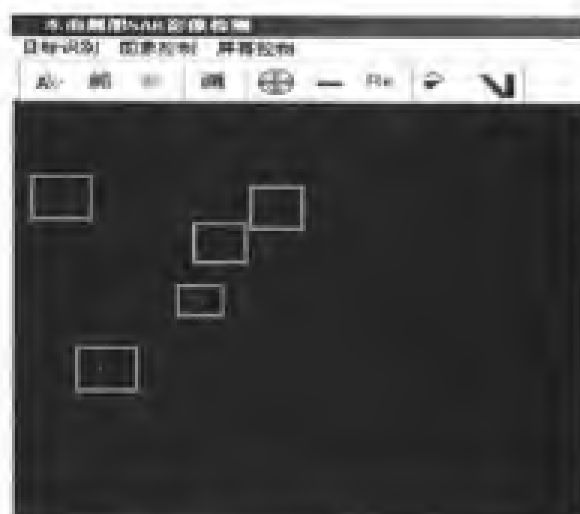


图 12－18　图像显示的舰船位置

12.5.8　其他说明

(1)该模块开发语言采用 Visaul C＋＋6.0。

(2)该模块目前提供一套试验数据。

12.6 海雾监测模块

12.6.1 总体功能

该模块的主要功能是从 NOAA 和 GMS 遥感影像上进行海雾信息的提取。该模块包括两个子模块，其中一个是基于 NOAA 遥感影像数据，另一个是基于 GMS 遥感影像数据，其基本功能相同。

12.6.2 集成模式

集成模式采用在 MaXplorer 系统平台下调用该模块的 exe 模式，即在 MaXplorer 系统平台下直接调用 ywfl. exe 和 NJGMS. exe 可执行文件。图 12－19 和图 12－20 分别给出了调用 ywfl 子模块和调研 NJGMS 子模块界面。



图 12－19 MaXplorer 调用海雾监测模块(NOAA)

12.6.3 集成过程

(1)把 ywfl. exe 和 NJGMS. exe 文件直接 copy 到 MaXplorer 目录下。

(2)把 ywfl. exe 可执行文件需要的 res 文件夹(主要是开发子系统的源文件)、sysdata 文件夹(包括基本河流参数文件)、sysdata. txt 文件和 weather. dll 和 DIBapi. dll copy 到 MaXplorer 文件下。

(3)把 NJGMS. exe 可执行文件需要的 Sat _ Data 文件夹 copy 到任意目录下，同时修改 GMS-PATH. dat 文件中的路径；该调用过程是把 Sat _ Data 文件夹 copy 到 c 盘根目

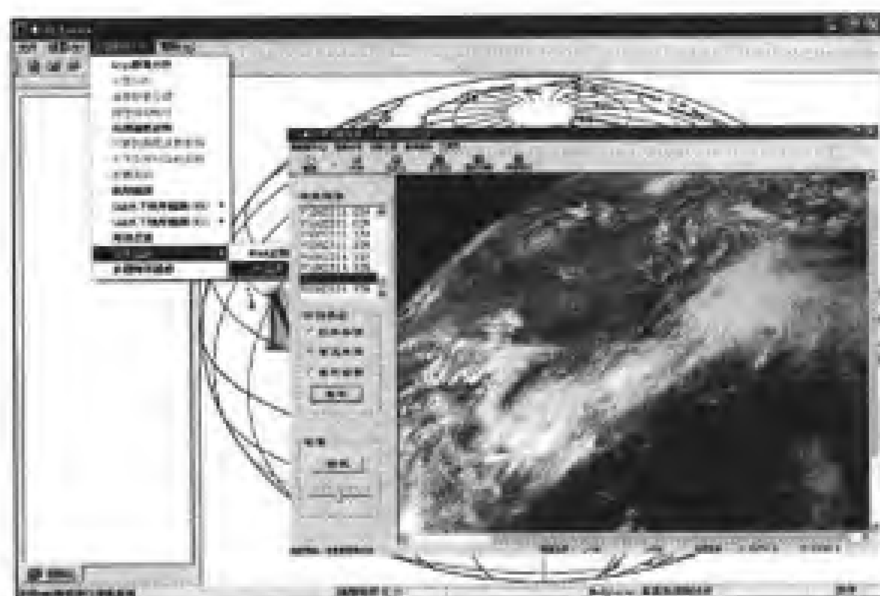


图 12－20　MaXplorer 调用海雾监测模块(GMS)

录下，对应的 GMS _ PATH. dat 文件修改如下：

①c:\MaXplorer\Sat _ Data\cloud\：存放云图资料

②c:\MaXplorer\Sat _ Data\Gmsdata\：存放云图信息

③c:\MaXplorer\Sat _ Data\g _ data\：存放天气图叠加信息

④c:\MaXplorer\Sat _ Data\

⑤c:\MaXplorer\Sat _ Data\ground _ data\：网络映射路径，读取地面自动观测站能见度等资料

⑥c:\MaXplorer\Sat _ Data\lycgmsdata\：网络映射路径，系统计算后得到的雾、低云等资料，提供给预报系统

⑦c:\MaXplorer\Sat _ Data\cloudfy2\：存放云图资料

(4)在 MaXplorer 开发系统环境下，编写调用代码。

12.6.4　数据输入模块

(1)输入的数据放到了 Sat _ Data 文件夹中，该文件夹的存放内容如 12.6.3 中的第(3)步所说。

(2)试验的输入数据包括标准 NOAA-1B 数据和标准的 GMS 数据，其中 GMS 数据包括可见光通道数据、红外通道数据和水汽通道数据，该试验数据在该模块中能够进行可视化，以图像的形式显示。

12.6.5　数据输出模块

数据的输出采用统一的 bmp 图像格式，图 12－21 给出海雾监测模块最终的监测结果。

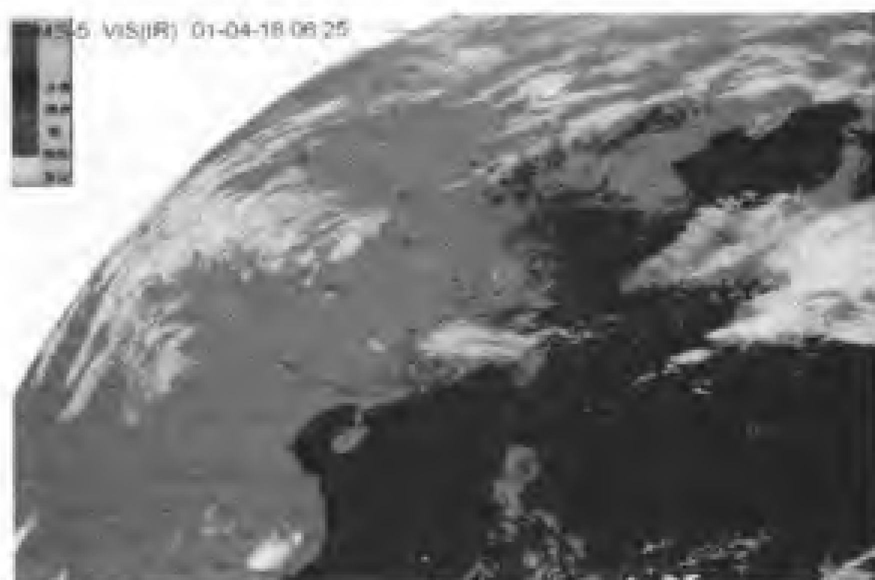


图 12-21 海雾监测模块最终的监测结果

12.6.6 其他说明

(1)该模块的开发语言采用 Visual C++6.0；

(2)GMS 遥感卫星传感器目前已停止使用，其数据目前用 NOAA 替代。

12.7 巨浪模块

12.7.1 总体功能

该模块的主要功能是关于海浪的高度计与散射计数据的可视化。模块中还包括几个数据的处理功能，比如数据读取入库，参数反演等。

12.7.2 集成模式

集成模式采用在 MaXplorer 系统平台下调用该模块的 exe 模式，即在 MaXplorer 系统平台下直接调用 surge.ex 可执行文件。图 12-22 显示的是通过点击扩展模块菜单下"巨浪"子菜单来调用"巨浪"子模块时候弹出的界面。



图 12-22 巨浪模块界面

12.7.3 集成过程

(1)把 surge.exe 文件直接拷贝到 MaXplorer 目

录 Debug 下。

(2)把 surge. exe 程序调用的 assimilation. exe 和 objective. exe 可执行文件与 surge. exe 放到同一个文件夹中。

(3)把 wave 文件夹和 input. dat、bound. dat、distant. dat 等程序运行所需的 . dat 文件以及 EAST. BLN 文件也拷贝到 MaXplorer 目录 Debug 文件夹中，然后修改 input 文件中的路径，该路径表示的是所要输入的数据所在的位置。

(4)把 surge. mdb 数据库放到 MaXplorer 目录 Debug 文件夹中。

(5)把 surge. exe 可执行文件需要的 read_alt. dll、readsar. dll、sartmp. dll 和 z. dll 动态链接库文件拷贝到 MaXplorer 目录 Debug 文件夹下。

(6)在 MaXplorer 开发系统环境下，编写调用代码。

12.7.4 数据输入模块

(1)巨浪模块的输入数据放到了 surge. mdb 数据库中。

(2)输入数据为通过"直接提取"读入到数据库中的高度计与散射计数据，其内容包括时间、地理位置、K 波段有效波高、C 波段有效波高、K 波段后向散射系数、C 波段后向散射系数、风速、平均周期、平均波长、主波波长等，该试验数据在该模块中能够进行可视化，以二维和三维的形式显示。

12.7.5 数据输出模块

数据的输出采用调用 surfer7. 0 软件输出，图 12－23 至图 12－25 给出海浪监测模块中风速要素的散点图、等值线图和三维显示图的显示结果。



图 12－23 散点图

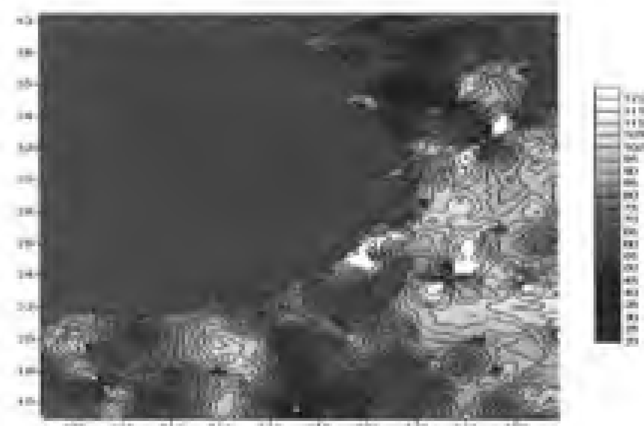


图 12－24 等值线图

12.7.6 其他说明

(1)该模块的开发语言采用 Visual B 6. 0；

(2)程序使用前要先安装 surfer7. 0 软件，而且要先运行一次方能在程序中调用该软件功能。

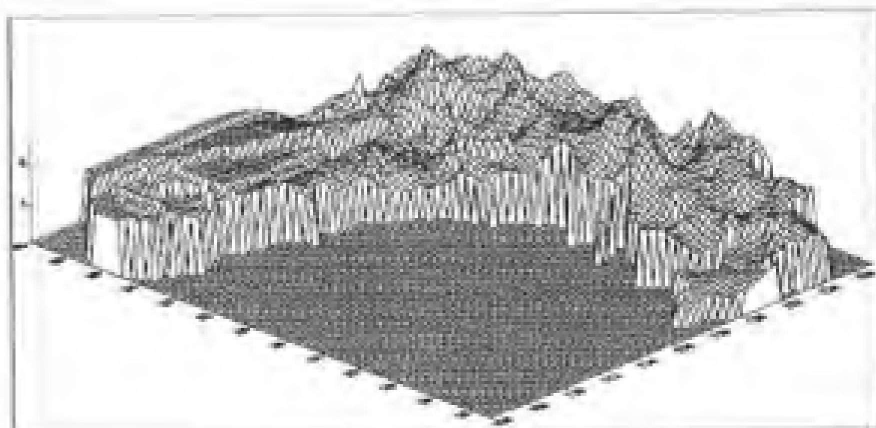


图 12-25　三维显示图

12.8　多源海洋遥感信息融合与同化模块

12.8.1　总体功能

该模块的主要功能是从观测数据、初始流场数据、遥感叶绿素表层数据和遥感 SST 表层数据根据自主设计的 NPZD(N 代表营养盐，P 代表浮游植物，Z 代表浮游动物，D 代表碎屑)的正向模式和反向模式进行同化出海洋垂向各层的叶绿素浓度数据、垂向各层的营养盐浓度数据、垂向各层的悬浮动物浓度数据和垂向各层的碎屑浓度数据。

12.8.2　集成模式

在 MaXplorer 系统平台下直接调用其 exe 模式，即直接调用 863eco. exe。在 MaXplorer. exe 根目录下包括的文件和文件夹有：863eco. exe，comblk. h 文件和 Background、Input、Data _ bj、Data _ tj 和 Output 文件夹；其中：863eco. exe 为项目的可执行程序，comblk. h 为开发者自己定义的头文件，主要功能是定义能够在系统中通用的参数。

该模块的开发语言采用 Visual Fortran，没有可视化的界面，其运行界面类似于 DOS 形式。在 MaXplorer 软件平台下调用其界面如 12-26 所示。

12.8.3　集成过程

(1)把 863eco. exe 文件、comblk. h 文件和 Background、Input、Data _ bj、Data _ tj 和 Output 文件夹 Copy 到 MaXplorer 软件平台下的根目录下；

(2)在 MaXplorer 软件平台的开发环境下，编辑代码调用 863eco. exe 可执行文件。

12.8.4　数据处理流程

模块的处理流程如图 12-27 所示，其中



图 12-26　MaXplorer 调用多源海洋遥感信息同化模块界面

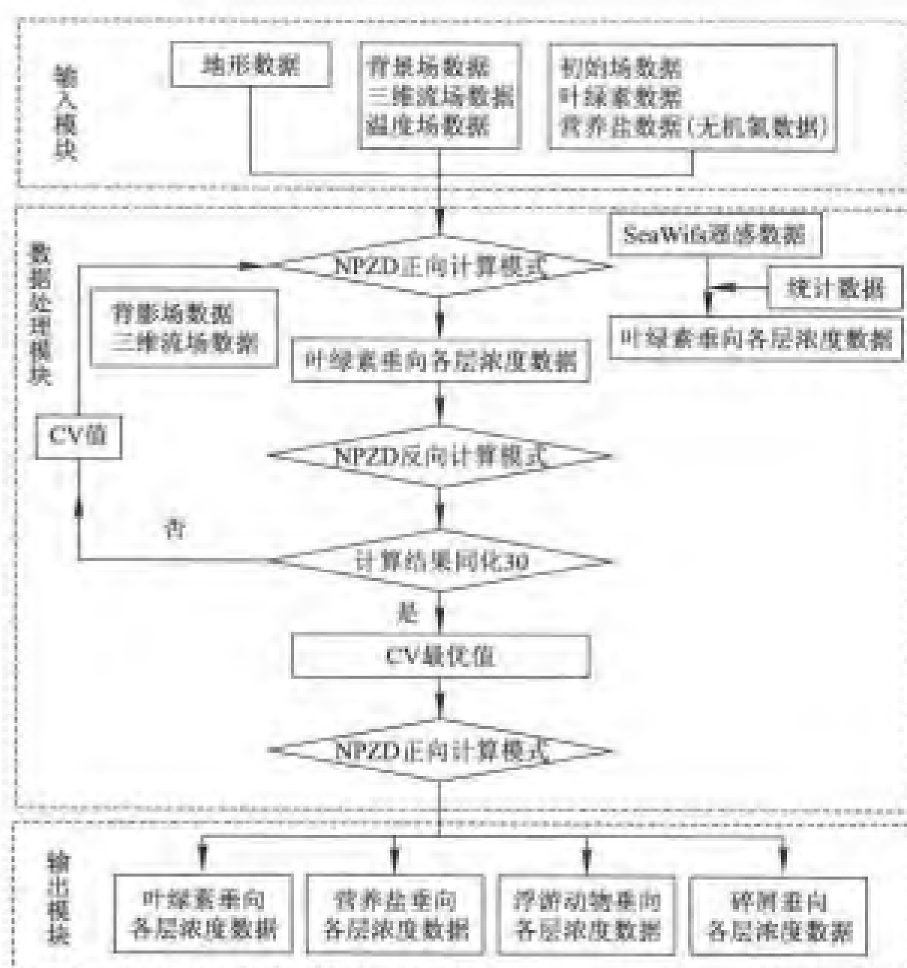


图 12-27　多源海洋遥感信息同化模块处理流程

(1)地形数据来源不明,数据单位是 m,数据格式是 dat 文件,该系统采用的 dat 文件格式如图 12－28 所示。

0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24	1.98	2.71	3.33	4.06	4.48	4.71
4.77	4.58	4.31	3.98	3.63	3.11	1.73	0.99	0.00	0.00	0.00	1.61	1.94	2.09	1.82	2.22	2.46
2.65	2.75	2.88	2.93	2.90	2.81	2.71	2.43	2.08	1.75	1.65	1.46	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06
0.00	1.09	1.80	2.13	1.84	1.74	1.94	2.50	2.88	3.57	4.17	4.62	4.82	4.87	4.84	4.60	4.28
3.78	3.28	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54	2.29	2.48	2.52	2.46	2.77	2.90	3.07	3.04	3.01
2.98	2.95	2.80	2.66	2.44	2.20	2.02	1.76	1.37	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.66	2.10	1.30	1.90	2.85
3.38	3.31	3.14	3.41	3.89	4.20	4.55	4.81	4.92	4.94	4.87	4.74	4.48	4.12	3.17	2.07	0.00
0.00	0.00	1.63	2.09	2.51	2.90	3.03	2.99	2.93	3.23	3.13	3.14	3.17	3.14	3.11	3.07	3.00
2.72	2.46	2.27	2.00	1.76	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89	2.61	2.40	2.78	3.35	3.81	4.05	4.40	4.68

12－28 dat 文件的存储格式

(2)背景场数据(三维流场数据(u、v、w)和温度场数据(t))是用 pom 模式计算得到的数据,其数据格式是 dat,采用二进制格式存储;

(3)初始场数据(表层叶绿素浓度数据(mmol N/m^3)和营养盐浓度数据(mmol N/m^3))是由天津海洋信息中心根据实测数据内插得到格网数据,其数据类型为 dat 文件,文件格式如图 12－28 所示。

(4)SeaWiFS 遥感数据是利用 SeaWiFS 卫星传感器获取到的海洋表层叶绿素浓度数据(mg/m^3),数据来自国家海洋环境预报中心。

(5)NPZD 是开发人员自行设计的生态计算模式:N 代表营养盐,P 代表浮游植物,Z 代表浮游动物,D 代表碎屑。

12.8.5 数据输入模块

(1)数据的输入包括地形数据、观测数据、初始场数据和遥感数据;

(2)输入的全部数据放到 Background、Data _ bj、Data _ tj 和 Input 文件夹下,并把这些文件夹 Copy 到 MaXplorer 软件平台的根目录下。

12.8.6 数据输出模块

(1)数据的输出放到了 Output 文件下;

(2)系统的输出包括叶绿素垂向各层浓度数据(mg/m^3),营养盐垂向各层浓度数据(mmol/m^3),浮游动物垂向各层浓度数据(mmol/m^3)和碎屑垂向各层浓度数据(mmol/m^3),cf 文件用于记录代价函数的值,是模拟的叶绿素场数据与遥感卫星叶绿素数据的差值的平方和,deltamin 是用来记录代价函数的最小值与初始值的比值,目的在于检验优化的程度;

(3)计算结果可以与实测数据进行比较也可以与遥感卫星数据进行比较，来验证模式的正确性，但本系统没有提供。

12.8.7 其他说明

(1)系统的开发语言是 Visual Fortran；

(2)实验区的空间范围是 24°N—41°N 和 117.5°E—131°E，数据的空间分辨率是 10′×10′，SeaWiFS 卫星遥感数据和初始场数据的时间分辨率为 monthly，实际应用到的数据是用线性内插的方法内插成 5 d 的数据，背景场数据是用 pom 模式计算得到，时间间隔 30 min；

(3)系统采用的格网大小是 82×103；

系统中计算的垂向各层是按照标准水深分层进行的，包括 0 m、10 m、20 m、30 m、50 m、75 m 和 100 m，采用迪卡尔坐标系，水深大于 100 m 的按照 100 m 计算。

下篇 应用篇

第 13 章 海洋锋形态特征提取

13.1 形态学梯度

13.1.1 结构元素

1. 基本概念

无论在二值图像的形态处理还是在灰度图像的形态处理中，结构元素都是一个重要的概念。结构元素选择将直接影响形态变换的结果。结构元素的确定是最为基础，也是研究较少的问题之一。

结构元素(Structuring Element)，亦简称为结构元。是一种特殊的影像集合，一般是一个包括原点的点集，它是形态变换的媒介物。

结构元素的引入，使得各种复杂的形态变换转化为只对结构元素的简单处理。有关目标的尺寸、形状、连贯性、凸凹性、平滑性和方向性等信息，可以通过在变换过程中选择不同的结构元素加以确定(Zheng Yi 等 1996)。结构元素没有固定的形状大小，它是在设计不同处理算法的同时，根据目标物和所需信息的形状特征一并设计出。对不同的目标物，需要设计不同的算法和不同的结构元素，有目的地控制信息丢失或增强图像特征。(Dempster 等 2001)。

理论上讲，任何影像及其变形都可以作为结构元素。但是，要弄清每一个结构元素的性质和对应变换的效果是困难的，有些甚至是不可能的或者是没有意义的。实际应用中的结构元素往往是一类具有良好的几何和拓扑性质的结构元，比如由各种三交叉点集组成的结构元素，在击中与击不中变换下，可以滤除所有三交叉点。一般的结构元素反映的是目标影像的局部特征或者结构元素在几何结构上比目标影像简单的多，形态变换才有实用意义(殷泽兴等 1999)。

2. 基本性质

结构元素的两个基本属性是尺寸和形状，形状的不同决定了结构元素探测的方向，影响到信息探测的最终效果；结构元素尺寸的大小影响到探测信号的空间尺度。无论处理的是二值图像还是灰度图像，均可以根据信号的性质来定义结构元素的形状，或进行结构元素性状的组合。

为了具体化，在没有特殊说明的情况下，本章中的结构元素一般指方形结构。方形结构元素是面状结构元素的一种，具有以下性质。

(1)各向同性。各向同性是结构元素自身的平移不变性和旋转不变性。即当标示原点在结构元素中心时，结构元素无论如何平移和旋转，仍然是结构元素本身。相对于方向性结构元素，这种各向同性，对于消除各方向噪声，能够取得较为理想的效果。

(2)单调性。结构元素单调性是指结构元素自身经形态学膨胀和腐蚀所形成结构元素序列，具有内在的包含性。定义$\oplus$为膨胀运算符，定义$\otimes$为腐蚀运算符，B 为结构元素，则

$$\otimes B \subseteq B \subseteq \oplus B \tag{13-1}$$

(3)序列性。结构元素的单调性是结构元素序列性的前提。结构元素自身经过膨胀和腐蚀的运算，可形成序列结构元素。假设基结构元素为 B，多尺度结构元素为 nB，其中 $n=1,2,3,\cdots$ 则

$$nB = B \oplus B \oplus B \cdots B \oplus B \tag{13-2}$$

结构元素的序列性对应空间序列尺度，序列结构元素中的任一结构元素对应着尺度空间中的某一尺度，这是利用形态学理论进行空间尺度分析的基础。

(4)结构元素尺寸与空间尺度的关系。在方形结构元素中，结构元素的尺寸是指结构元素的长度(宽度)。结构元素自身的膨胀和腐蚀形成了长度依次增加或者减小的结构元素序列，从实质分析，结构元素的尺寸与空间尺度存在着一一对应的关系，存在一个尺寸的结构元素，在空间中总能找到某一尺度与之相对应。某一空间尺度的信号，也只能用某一尺寸的结构元素进行探测，才能达到最为理想的效果。信号的多尺度特性也就要求形成序列结构元素，从序列的结构元素中，选择最佳的某一或某几种尺寸的结构元素进行信号的探测。

13.1.2 形态学梯度基本理论

1. 基本概念

数学形态学是基于数学集合论的思想，易于实现并行算法，形态学梯度是进行特征探测的一种算法，在抗噪声和连续性上具有独特的优点。数学形态学梯度的基本思想是基于形态学的基本概念：膨胀和腐蚀的基本操作的结果，因而形态学梯度涉及几个基本概念：膨胀、腐蚀、开运算和闭运算。

(1)膨胀：存在结构元素 g，存在原始信号 f，利用填充概念，用 g 对 f 的膨胀定义为：

$$(f \oplus g)(x) = \min[y : (g^{\hat{}})x + y \gg f] \tag{13-3}$$

信号 f 被结构元素 g 膨胀的结果是在信号 f 的定义域内，信号与结构元素和的最大值的集合。根据其几何意义可知：若结构元素的值恒为正，膨胀的结果在消除小于结构元素的较低的噪声的同时，也增强了较暗的细节；

(2)腐蚀：结构元素为 g，原始信号为 f，利用填充概念，用 g 对 f 的腐蚀定义为：

$$(f \otimes g)(x)=\max(y: g_x+y \ll f) \tag{13-4}$$

可见，信号 f 被结构元素 g 腐蚀的结果是在信号 f 的定义域内，信号与结构元素差值的最小值集合。根据其几何意义可知：若结构元素的值恒为负，腐蚀的结果是在消除小于结构元素的较高的噪声的同时，也降低了较亮的细节信息。

(3)开运算：结构元素为 g，原始信号为 f，用结构元素 g 对原始信号 f 的开运算表示为 $f \circ g$ 其定义为：

$$f \circ g(f \otimes g) \oplus g \tag{13-5}$$

在图像处理中，开运算一般也可定义为另外一种等价形式：

$$f \circ g=\bigcup(g+x: g+x \subset f) \tag{13-6}$$

该定义形式表明，开运算可以通过计算所有可以填入图像内部的结构元素平移的并求得。即对每一个可填入位置作标记，计算结构元素平移到每一个标记位置时的并，便可得到开运算结果。事实上是对原始信息先做腐蚀再做膨胀运算的结果。

开运算的滤波性质为：消除细小物体、分离有纤维相连的物体、去除较大目标的棱角而使边界平滑等作用。

(4)闭运算：结构元素为 g，原始信号为 f，用结构元素 g 对原始信号 f 的闭运算表示为 $f \cdot g$ 其定义为：

$$f \cdot g=(f \oplus g) \otimes g \tag{13-7}$$

在图像处理中，闭运算是开运算的一种对偶，因而可以用另外一种等价形式表示：

$$f \cdot g=(f^c \cdot g)^c \tag{13-8}$$

其中：f^c 是信号的补集。该形式表明，闭运算可以通过对原始信号求补集，对补集信号利用结构元素进行开运算，对运算的结果再一次求其补集，就得到闭运算结果。事实上是对原始信号先做膨胀再做腐蚀运算的结果。

开运算的滤波性质为：闭合运算起到连通补缺的作用，它使图像的轮廓在外沿部分趋于平滑，填充细小的沟，并可能使不连通的部分相连。

2. 形态学梯度的定义

数学形态学梯度是基于形态学的基本概念：膨胀和腐蚀的基本操作的结果。我们知道，信号 f 被结构元素 g 腐蚀的结果是在信号 f 的定义域内，信号与结构元素差值的最小值集合；信号 f 被结构元素 g 膨胀的结果是在信号 f 的定义域内，信号与结构元素和的最大值的集合。同时，结构元素的大小和形状对腐蚀和膨胀的结果有着重要的影响，若结构元素的值恒为正，膨胀的结果在消除小于结构元素的较低的噪声的同时，也增强了较暗的细节；若结构元素的值恒为负，腐蚀的结果是在消除小于结构元素的较高的噪声的同时，也降低了较亮的细节信息。

形态学梯度可定义成原始图像被膨胀的结果减去原始图像被腐蚀的结果，用代数形式表示为：

$$G(f)=(f\oplus g)-(f\otimes g) \tag{13-9}$$

由于利用扁平结构元素作腐蚀和膨胀可以得到极大和极小滤波器的效果，故式(13-9)可以理解为在图像中的每一点，形态学梯度是结构元素尺寸区域内最大值和最小值的差值。

$$G(f)=\frac{\Delta G_{\mathrm{MaxGray}}}{\Delta D_{\mathrm{Distance}}} \tag{13-10}$$

其中：$\Delta G_{\mathrm{MaxGray}}$表示结构元素尺寸区域内实际值差值的最大值；$\Delta D_{\mathrm{Distance}}$表示用于计算梯度所定义的距离。

13.2 结构元素最佳尺度确定

13.2.1 形态学梯度的性质与结构元素尺寸之间的关系

为了理解形态学梯度的性质与结构元素尺寸之间的关系，不妨假设：

(1)特征要素的空间尺度为λ，特征要素的边缘尺寸为γ；

(2)特征要素f为一维二值信号；

(3)结构元素为扁平结构元素，尺寸为δ。

现取$\lambda=5,\gamma=4,\delta=1,2,2.5,3$为例来说明。如图13-1，其结构元素的尺寸与特征要素边缘尺寸之间的关系和结构元素的尺寸与特征要素本身的空间尺度之间的关系见图。尽管所采用的例子是一维二值信号，但对于二维数字图像，其结论仍然成立。

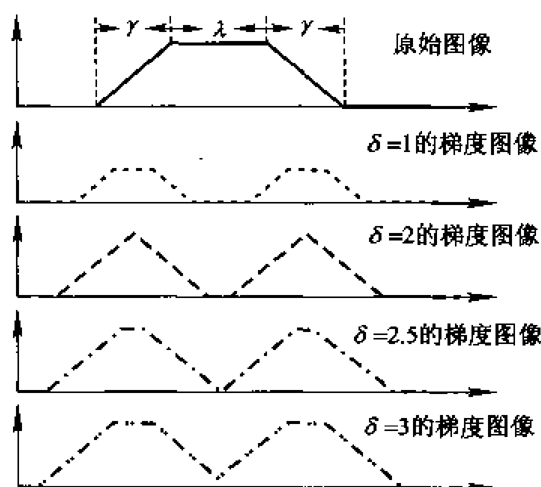


图13-1 结构元素尺寸与特征边缘尺寸和特征空间尺度关系图

从图13-1中，可以得出以下的结论：

(1)δ和γ的关系：当$\delta=\gamma/2$时，所取得的边缘定位精度和图像的对比度效果最好；当$\delta<\gamma/2$时，随着δ的减小，所得边缘的中心宽度增加，但边缘的中心亮度降低；当$\delta>\gamma/2$时，随着δ的增大，所得边缘的中心宽度增加，边缘的中心亮度达到最大值，并保持不变。

(2)δ和λ的关系：当$\delta\leqslant\lambda/2$时，能够取得较好的图像边缘信息，随着δ的减小，所得到的边缘定位信息越准确；当$\delta>\lambda/2$时，随着δ的增大，所得到的图像边缘定位信息愈不准确，且当$\delta=\lambda$时，所得到的边缘图像是毫无意义的高亮度信号。

(3)从(1)和(2)可知,最佳的 δ 为:$\delta=\gamma/2$,且 $\delta\leqslant\gamma/2$。

在此结论的基础上,继续分析和推导形态学梯度的性质和结构元素大小之间的关系。由于 $\delta=2$,$\delta=2.5$ 和 $\delta=3$,可以分别看成是 $\delta=1$ 进行 n 次膨胀的结果,其中 $n=1$,2.5,3,因此,图 13-1 中的 $\delta=1,2,2.5,3$ 的梯度图像也可以看成是序列多尺度形态梯度图像。为了详细直观的进行分析形态学梯度的性质和结构元素大小之间的关系,采用上述类似的假定和表格图像来说明。其中需要说明的是在图 13-1 的基础上,增加了 $\delta=0.5$ 的梯度图像,并把梯度图像的信号与原始信号放在了一起,主要原因是为了更好地说明各个梯度图像之间差值的信息。其形态学梯度的性质和结构元素大小之间的关系如图 13-2 所示。从图 13-2 中,可以得到如下几点的结论:

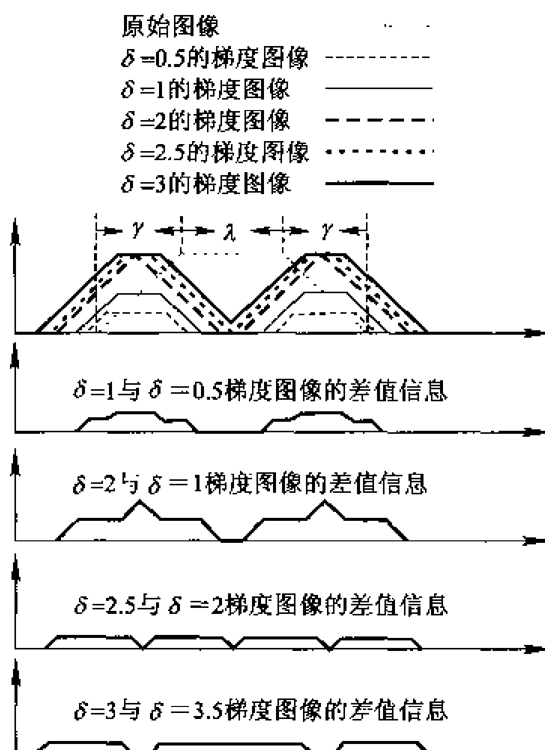


图 13-2 形态学梯度性质与结构元素尺寸关系图

(1)分别用 $\delta=2$ 和 $\delta=1$ 作为结构元素的尺寸,所获取的形态学梯度图像作差值运算所得到差值信息最佳,且存在峰值;

(2)分别用 $\delta=1$ 和 $\delta=0.5$ 作为结构元素的尺寸,所获取的形态学梯度图像作差值运算所得到差值信息不存在峰值,且图像的亮度较弱;

(3)分别用 $\delta=2.5$ 和 $\delta=2$ 作为结构元素的尺寸与分别用 $\delta=3$ 和 $\delta=2.5$ 作为结构元素的尺寸,所获取的形态学梯度图像作差值运算所得到差值信息不仅图像的亮度很弱,且存在双边缘现象。

从结论(1)(2)和(3)中,可以得出更为普遍的结论:用 $\delta=\gamma/2$ 的结构元素及其下一级尺度的结构元素所获取的梯度图像作差值运算,得到的图像信息最佳,且存在着峰值现象;当用 $\delta<\gamma/2$ 的结构元素及其下一级尺度的结构元素所获取的梯度图像作差值运算,得到的图像信息亮度较低,且不存在着峰值和双边缘现象;当用 $\delta>\gamma/2$ 的结构元素及其上一级尺度的结构元素所获取的梯度图像作差值运算,得到的图像信息的亮度很低,且存在着双边缘现象。

该结论是结构元素尺寸自适应确定算法设计的基础。

13.2.2 最佳结构元素尺寸的自适应确定

根据上述结论,可设计结构元素的尺寸自适应确定算法。假定结构元素的基元素为 B,图像信号为 f;首先提取结构元素尺寸为($1B$)的梯度图像 f_1,再次提取出结构元素尺寸等于 $2B$ 的梯度图像像 f_2,计算梯度图像像 f_2 与像 f_1 的差,得到差值图像像 f^1,比较

分析 f^1，如果 f^1 是一幅双边缘图像，则最小的结构元素尺寸 B 是最佳的结构元素；若 f^1 不是一幅双边缘图像，则继续提取结构元素尺寸为 $3B$ 的梯度图像 f_3，计算梯度图像 f_3 与 f_2 的差得，得到差值图像 f^2，比较 f^2，……，直至 f^n 是双边缘图像，则结构元素为 nB 时，是最佳结构元素的尺寸。

上述设计可用图 13-3 所示的流程图表示。

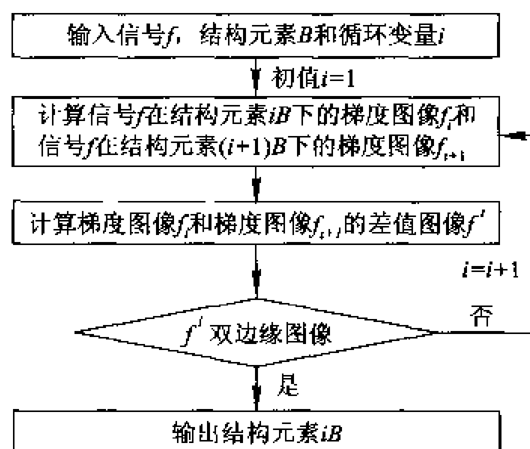


图 13-3　结构元素尺寸的自适应算法确定流程图

在上述设计中，关键在于如何自动判别差值图像 f^i 是否为双边缘图像。由于图像的边缘是高频信息，是图像能量集中的区域。理论上分析，图像双边缘的特征使图像的能量成倍增加。信息熵是对图像能量衡量的一个重要指标，因此可利用信息熵来自动判别差值图像是否为双边缘图像。其自动判别过程如图13-4所示。

根据 Shannon 熵公式对离散图像信息熵定义为：

$$E=\sum_{k=0}^{n-1}\sum_{l=0}^{m-1}(-1)\times p(k,l)\times\log_2 p(k,l) \tag{13-11}$$

其中：m,n 是图像的行列号，$p(k,l)$是图像的第 k 行和第 l 列像素灰度值的频度。

阈值的设定是自动判别过程的关键。f_i 和 f^i 经过系列的处理后变成了只有背景和目标的二值骨架图像，其背景信息对研究没有任何意义，在统计熵的过程中把其省略，因此其熵的比值根据式(13-11)可得

$$E^i/E_i=\frac{2N\times(-1)\times 2p(k,l)\times\log_2(2\times p(k,l))}{N\times(-1)\times p(k,l)\times\log_2 p(k,l)} \tag{13-12}$$

其中：N 是目标的总个数。由于 f_i 和 f^i 经过处理后得到的二值骨架图像，$p(k,l)$灰度值的频度非常低，通常情况下 $p(k,l)<0.25$，因此整理式(13-12)得

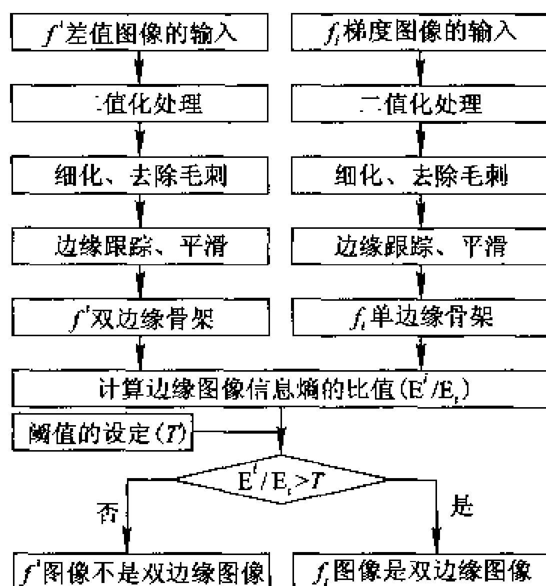


图 13-4　双边缘图像的自动判别流程

$$E^i/E_i=4\times\frac{\log_2(2\times p(k,l))}{\log_2 p(k,l)}>4\times\frac{-0.301}{-0.602} \tag{13-13}$$

根据式(13-13)和研究的内容，图 13-4 双边缘图像的自动判别流程中阈值 T 的设定为：$T=2.0$。

13.3 形态学最佳尺度提取试验

13.3.1 试验数据

以下取黑潮(见图 13-5)与墨西哥湾流(见图 13-6)为试验对象。黑潮流域南北跨度约 16 个纬度,东西跨度约 20 个经度。黑潮流幅的平均空间尺度约为 150 km,在日本列岛南面海域,黑潮流幅的最大空间尺度可达 200~300 km,黑潮边缘锋横断面的宽度约为 20~30 km。墨西哥湾流也称湾流,流幅的平均空间尺度约为 80~150 km,边缘锋横断面的宽度也约为 20~30 km。

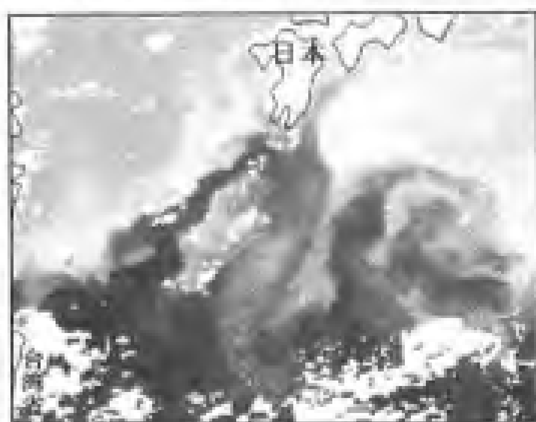


图 13-5 黑潮流域遥感图像

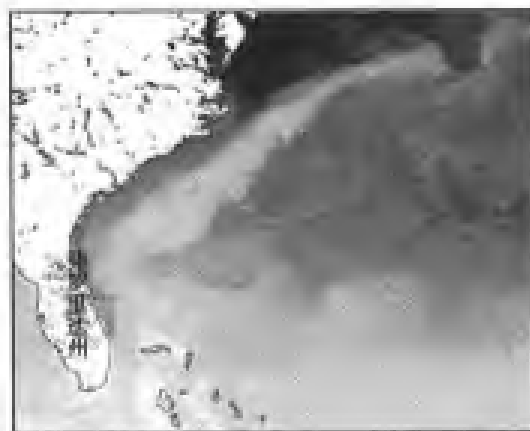


图 13-6 湾流流域遥感图像

选取的试验数据分别是 2002 年第 19 周的 NOAA SST(Sea Surface Temperature)栅格数据和 2003 年第 129 天至第 137 天的 MODIS/Aqua SST 栅格数据。其中试验数据是由 NASA PO. DAAC(The Physical Oceanography Distributed Active Archive Center)提供的 AVHRR Pathfinder SST 资料。NOAA-SST 数据的时间分辨率是 8 d,空间分辨率是 9 km,而 MODIS-SST 数据的时间分辨率是 Weekly,空间分辨率是 4 km。算法采用 Visual C++6.0 从底层开发,并集成在海洋地理信息系统软件 MaXplorer1.0 上。

13.3.2 试验结果

选取结构元素的大小分别为 3×3、5×5 和 7×7,然后分别对黑潮流域的 NOAA-SST 场和墨西哥湾流流域的 MODIS-SST 场进行了处理,处理结果分别如图 13-7(a)、13-7(b)和 13-7(c)和图 13-8(a)、13-8(b)和 13-7(c)所示。图中 NOAA-SST 数据的空间分辨率为 9 km×9 km,MODIS-SST 影像数据的空间分辨率为 4 km×4 km。从 13-7(a)、13-7(b)和 13-7(c)和图 13-8(a)、13-8(b)和 13-7(c)中,都可看出随着结构元素尺寸的增大,所得到的图像边缘逐渐变粗,定位精度也逐渐变得模糊。由于黑潮锋的横断面宽度和湾流锋的横断面宽度均约为 20 km~30 km。当采用 3×3 的结构元素时,δ 分别为 27 km(3×9 km)和 12 km(3×4 km),此时的 δ 都大于 $\gamma/2$,当结构元素尺寸

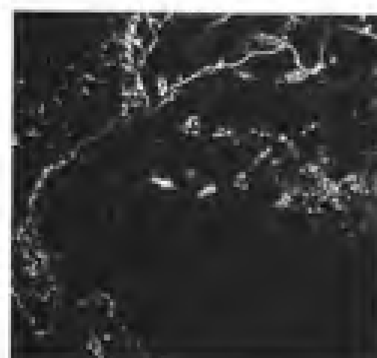
逐渐增大时，δ 也会更大，因此，无论从图 13－7(a)、13－7(b)和 13－7(c)还是从图 13－8(a)、13－8(b)和 13－7(c)中图像边缘逐渐变粗，这与 13.2.1 中的结论相符。

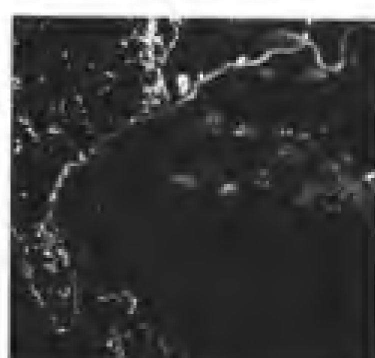
分析图 13－7(a)、13－7(b)和 13－7(c)可知，图 13－7(a)是较为理想的处理结果，在图 13－7(c)中，已很难找到有价值的边缘信息。这主要是因为对于 NOAA-SST 数据，当结构元素的大小为 3×3 时，$\delta=3\times9$ km＝27 km，且黑潮锋的横断面宽度约为 20 km～30 km，流幅的空间尺度为 150 km，即使是用最小的结构元素来提取海洋锋，此时结构元素的尺寸 δ 已经大于 $\gamma/2$，但 $\delta\ll\lambda/2$，因此，用最小结构元素尺寸(3×3)梯度算子来提取黑潮海洋锋的形态特征，能取得较为理想的效果。由于图 13－7(c)是采用结构元素尺寸为 7×7 梯度算子得到的边缘图像，当结构元素的尺寸为 7×7 时，$\delta=7\times9$ km＝63 km，此时 δ 不仅大于 γ，且 δ 与 $\lambda/2$ 的大小相差较小，因此所得到的是高亮度的信息，只有在黑潮流幅的空间尺度较大的位置能够找到边缘锋的形态特征。

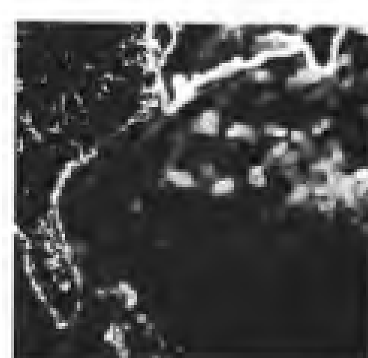

图 13－7(a)　黑潮流域 3×3 梯度算子


图 13－7(b)　黑潮流域 5×5 梯度算子


图 13－7(c)　黑潮流域 7×7 梯度算子


图 13－8(a)　湾流锋 3×3 梯度算子


图 13－8(b)　湾流锋 5×5 梯度算子


图 13－8(c)　湾流锋 7×7 梯度算子

分析图 13－8(a)、13－8(b)和 13－8(c)可知，从图 13－8(a)、13－8(b)和 13－8(c)中都能够提取湾流锋的形态特征，但从定位精度上分析，图 13－8(a)最精确，湾流锋只有1～2像素的宽度，因此，图 13－8(a)是最为理想的结果。主要原因在于 MODIS-SST 数据的空间分辨率为 4 km×4 km，当采用结构元素的尺寸是 3×3 时，$\delta=3\times4$ km＝12 km，且湾流锋横断面宽度约为 20～30 km，湾流流幅的空间尺度为 80～150 km，此时 $\delta\approx\gamma/2$，且 $\delta<\lambda/2$，因此利用结构元素尺寸为 3×3 的梯度算子提取湾流锋形态特征能够取得最佳的效果；当采用结构元素的尺寸是 7×7 时，$\delta=7\times4$ km＝28 km，尽管 $\delta>\gamma/2$，甚至 $\delta>\gamma$，但 $\delta<\lambda/2$，因此利用

7×7的梯度算子提取湾流锋的形态特征也能够取得理想的效果，但此时的定位精度很低。

综合以上分析可知，对空间分辨率为 9 km×9 km 的 NOAA-SST 遥感影像数据进行黑潮锋形态特征提取，用结构元素尺寸为 3×3 的形态学梯度算子，可以取得较为理想的效果；对空间分辨率为 4 km×4 km 的 MODIS-SST 遥感影像数据进行湾流锋形态特征提取，用结构元素尺寸为 3×3 的形态学梯度算子，可以取得最为理想的效果，这为进行黑潮和湾流的时间演变研究和数据准备工作提供了借鉴意义。

分析图 13-8(a)、图 13-8(b)和图 13-8(c)可知，图 13-8(a)是湾流锋提取效果较为理想的结果，用此数据作为验证最佳结构元素尺寸自适应算法。对墨西哥湾流锋原始影像分别用结构元素尺寸为 3×3、6×6、9×9 和 12×12 进行边缘提取，对提取的结果分别计算结构元素尺寸为 6 与结构元素尺寸为 3、结构元素尺寸为 9 与结构元素尺寸为 6 和结构元素尺寸为 12 与结构元素尺寸为 9 相邻梯度间差值图像，其差值图像分别如图 13-9(a)、图 13-9(b)和图 13-9(c)所示。图 13-10(a)、13-10(b)和 13-10(c)分别给出了结构元素尺寸依次为 3、6 和 9 的梯度图像。



图 13-9(a)　差值图像 6-3



图 13-9(b)　差值图像 9-6



图 13-9(c)　差值图像 12-9

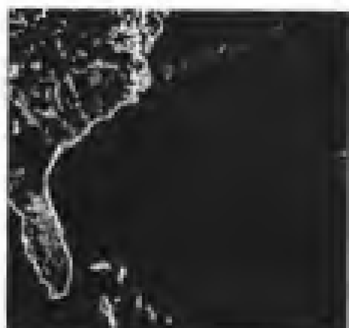


图 13-10(a)　结构元素尺寸为 3 的梯度图像

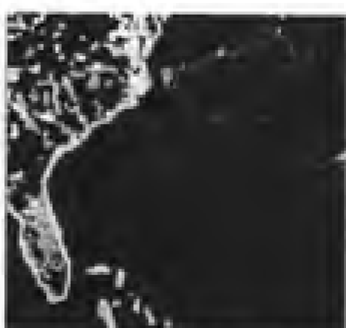


图 13-10(b)　结构元素尺寸为 6 的梯度图像

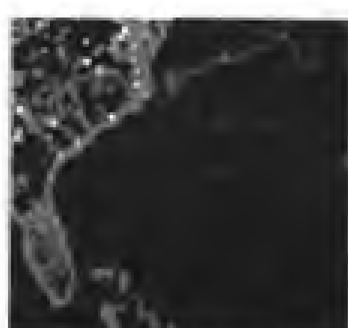


图 13-10(c)　结构元素尺寸为 9 的梯度图像

分析图 13-9(a)、图 13-9(b)和图 13-9(c)可知：在图 13-9(a)中，图像的双边缘现象不是很明显，但已经能够隐约的能够看到，而在图 13-9(b)和图 13-9(c)中，图像的双边缘现象已经非常明显。同时对比图 13-9(a)、图 13-9(b)和图 13-9(c)和图 13-10(a)、图 13-10(b)和图 13-10(c)结构元素尺寸的自适应算法是可行的。

13.3.3　与典型梯度算子的对比分析

梯度算子的基础是基于数字差分的思想，一般利用数字图像的一阶导数和二阶导数

的近似值来计算图像或信号的梯度。选用的梯度算子是在长期的实践和试验中被证明的典型算子，这些算子主要包括 Kirsch 算子、Gauss-Laplace 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子和 Robert 算子。其数字模板的形式如图 13－11 所示。

$$\begin{pmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

Kirsch算子

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Prewitt算子

$$\begin{pmatrix} -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -4 & 8 & 24 & 8 & -4 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \end{pmatrix}$$

Guass算子

$$\begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Sobel算子

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Robert算子

图 13－11 典型梯度算子的模板形式

为了更好地比较形态学梯度算子与典型梯度算子的边缘提取效果，选取了最佳结构元素尺寸(3×3)提取的墨西哥湾流锋的梯度图像作为对比分析图。运用上述的梯度算子，对墨西哥湾流锋图像进行处理，处理的结果如图 13－12(a)至 13－12(e)所示。其分析结果见表 13－1。

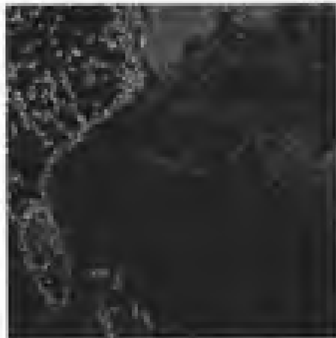


图 13－12(a) Kirsch 算子梯度

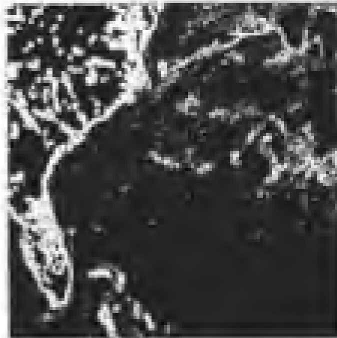


图 13－12(b) Guass 算子梯度

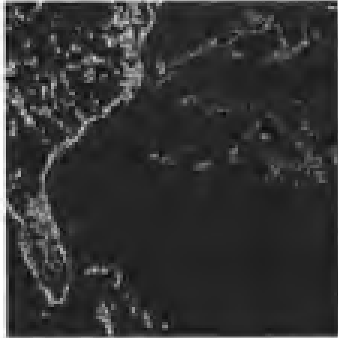


图 13－12(c) Sobet 算子梯度

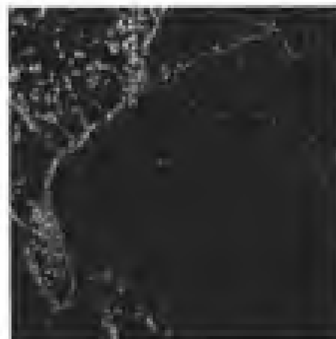


图 13－12(d) Prewitt 算子梯度

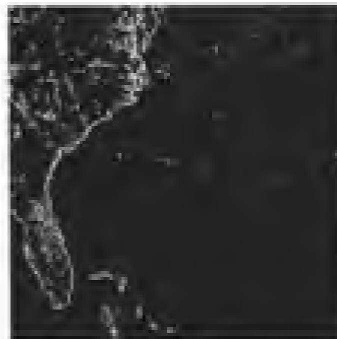


图 13－12(e) Robert 算子梯度

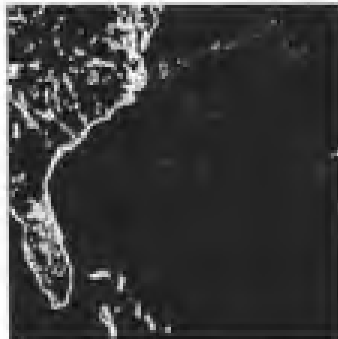


图 13－12(f) 形态学梯度图

表 13-1 梯度算子运算结果比较分析

	形态学梯度算子	Kirsch 算子	Guass 算子	Sobel 算子	Prewitt 算子	Rober 算子
稳健性	抗噪性很好	抗噪性一般	抗噪性较差	抗噪性很好	抗噪性很好	抗噪性很好
定位精度	精确	较低	非常低	精确	精确	精确
连续性	好	一般	好	一般	一般	较差
对比度	层次清晰	层次较差	层次较差	层次一般	层次一般	层次较差

13.3.4 试验结论

根据上述图表的关系推导和各种梯度算子运算结果的比较分析，可以得出如下几点结论：

(1)结构元素尺寸与信息特征的空间尺度存在定量关系，给定的结构元素尺寸只能检测特定尺度的信息特征。结构元素尺寸的过大或者过小，对于特定尺度的信息特征的提取都达不到理想的效果。

(2)利用梯度图像的双边缘信息和信息熵能够进行结构元素尺寸的自适应确定算法。根据图像单边缘信息和图像的双边缘信息具有的能量差异，利用信息熵作为判别的阈值，辅助以简单的图像处理(二值化、细化、边缘跟踪等)可实现结构元素尺寸的自适应算法。

(3)相对于其他典型边缘提取算子，形态学梯度在提取海洋锋边缘特征具有一定的优势，其他典型边缘提取算子对特征信息提取时，没有考虑到信息特征的多尺度特性，只是用边缘提取算子模板与原始影像进行卷积计算。而形态学梯度利用结构元的自身的序列特性，利用不同尺寸的结构元素对多尺度海洋锋进行提取，在稳健性、定位精度、连续性和对比度上都具有一定的优势。

13.4 小波的基本理论

本节将从小波理论分析入手，阐述小波理论的基本概念和基本性质，分析多尺度分析的基本思想和尺度函数及细节函数；在分析小波尺度和特征边缘关系的基础上，设计出最佳尺度小波函数的算法；最后对 NOAA-SST 和 MODIS-SST 数据进行试验，并与典型梯度算子边缘提取的效果进行比较，进而给出结论。

13.4.1 小波的基本概念

小波的基本概念主要包括以下方面。

1. 小波函数

定义 1 凡满足如下允许条件：

$$C_\phi=\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{|\phi(\omega)|^2}{\omega}d\omega<+\infty \tag{13-14}$$

相应的等价条件

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t)\mathrm{d}t=0 \tag{13-15}$$

的函数 $\phi(t)$ 称为一个基本小波函数或母小波函数。满足允许条件的母小波函数 $\phi(t)$ 经过伸缩和位移得到系列函数族

$$\phi_{a,b}(t)=|a|^{-1/2}\phi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{13-16}$$

其中 $b\subset R, a\subset R, \phi_{a,b}(t)$ 称之为小波函数。

变量 a 反映函数的尺度，变量 b 检测沿 t 轴平移的位置。小波函数具有以下性质：

(1) $\int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t)\mathrm{d}t=0 \Leftrightarrow \phi(t)=0$，说明函数 $\phi(t)$ 具有一定的振荡性（波动性），而且意味着母小波具有零直流分量或者说小波函数具有零均值。

(2)母小波函数及其形成的小波函数均为带通信号。

(3)母小波函数及其形成的小波函数随着 t 的延伸而快速衰减。

2. 尺度函数

定义 2 有整数平移和实数二值尺度、平方可积函数 $\varphi(t)$ 组成的展开函数集合，即集合 $[\varphi_{j,k}(x)]$，其中

$$\varphi_{j,k}(x)=2^{j/2}\varphi(2^j x-k) \quad (13-17)$$

对所有的 $j,k\in z$ 和 $\varphi(x)\in L^2(R)$ 都成立。此时 k 决定了在 x 轴上的位置，j 决定了 $\varphi_{j,k}(x)$ 的宽度，即沿 x 轴的宽或者窄的程度，而 $2^{j/2}$ 控制其高度或者幅度。由于 $\varphi_{j,k}$ 的形状随 j 发生变化，故 $\varphi(x)$ 被称为尺度函数。通过选择适当的 $\varphi(x)$ 和 $\{\varphi_{j,k}(x)\}$ 可以决定跨度 $L^2(R)$ 所有可度量的平方可积函数的集合。

从上面的定义可知尺度函数具有以下性质：

(1)尺度函数对其积分函数是正交的。

(2)由低尺度的尺度函数跨越的子空间在低尺度处嵌套在由高尺度跨越的子空间内。

(3)任何函数都可以以任意精度进行表示。

3. 小波变换和小波逆变换

小波变换是基于小波函数和尺度函数的基础上进行定义的。在进行数字图像处理的过程中，小波变换和小波逆变换都是针对二维离散数字图像进行，因而本章也只给出了二维离散小波变化和二维离散小波逆变换。对于其他小波变换的概念可以参照相应的小波分析理论书籍，这里不再赘述。

定义 3 设信号函数 $f(x,y)\in L^2(R^2)$，$\phi(x,y)$ 为二维基本小波函数，令 $\phi_{a,b,c}(x,y)$ 表示 $\phi(x,y)$ 的尺度伸缩和二维位移

$$\phi_{a,b,c}(x,y)=|a|^{-1}\phi\left(\frac{x-b}{a},\frac{y-c}{a}\right)\mathrm{d}x\mathrm{d}y \tag{13-18}$$

对应的二维离散小波变换为

$$\mathrm{DWT}(j,k_1,k_2)=a_0^j\sum_{I_2}\sum_{I_1} f(I_1,I_2)\phi(a_0^j I_1-k_1 b_0, a_0^j I_2-k_2 c_0) \tag{13-19}$$

其中：$a=a_0^{-j}, b=k_1 b_0 a_0^{-j}, c=k_2 c_0 a_0^{-j}, a_0, b_0, c_0$ 为常数，$j,k_1,k_2\in z$

对应的二维离散小波逆变换为

$$f(x,y)=<f(x,y),\phi_{a,b,c}>\phi_{a,b,c} \tag{13-20}$$

其中 $\dot{\phi}_{a,b,c}$ 是 $\phi_{a,b,c}$ 的对偶小波函数，<.,.>表示对应分量乘积之和。

13.4.2 小波变换的基本性质

小波变换是一种信号的尺度分析方法，它具有多分辨率分析的特点，而且在时频域都具有表征信号局部特征的能力，是一种窗口大小固定不变但其形状可变，时间窗和频率窗都可变的时频局部化分析方法。即在低频部分具有较高的频率分辨率和时间分辨率，在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率，很适合探测正常信号中夹带的瞬态反常现象并展示其成分，所以被誉为数学分析的显微镜。

小波分析的基本思想是把原始信号分解成低频 A_1 和高频 D_1 两部分，在分解过程中，低频 A_1 中失去的信息由高频 D_1 捕获。在下一层的分解中，又将 A_1 分解成低频 A_2 和高频 D_2 两部分，低频 A_2 中失去的信息由高频 D_2 捕获，如此类推下去，可以进行更深层次的分解，直到满足现实的需要。二维小波函数是通过一维小波函数经过张量积变换得到的，二维小波函数分解是把尺度 j 的低频部分分解成四部分：尺度 $j+1$ 的低频部分(A_1)和三个方向(水平、垂直、斜线)的高频部分(D_{11}、D_{12}、D_{13})。

小波变换的基本性质主要体现在以下几方面。

1. 信息的分解性

信息的分解性是指原始信息经过小波变换后，被分解成序列尺度上的信息。每个序列尺度上的信息都包含信息的近似部分和细节部分，近似部分主要反映信息的主体趋势，主要用来分析信息宏观趋势；细节部分具有方向特性，主要反映各个方向上信息的细节成分，主要用来分析信息的微观细节。这种信息的可分解性为信息在各个尺度上进行分析提供了基础。若选取的小波函数具有正交性，则小波的分解保持了信息的能量守恒，即保证了信息的无损分解。这种能量的守恒性在进行信息的高频部分分析至关重要，是进行边缘信息提取的前提。

2. 信息的重建性

信息的重建性是指信息经过小波变换后，得到各个尺度上的近似信息和细节信息，根据各个尺度上近似信息和细节信息的分布情况和研究目的，对各个尺度上细节信息和近似信息分别进行相应的操作。对操作后的近似信息和细节信息必须保证能够重建到原始尺度上。小波函数的对偶函数具有这种重建的特性，这与选择的小波基函数密切相关。若选取的小波函数具有正交的特性，例如 Harr 小波，信息经过小波分解，对分解后的近似信息和细节信息不进行任何相应的处理，经过小波函数的对偶函数进行重建，其重建后的信息与原始信息完全相同。

3. 能量的比例性

小波变换中能量的比例性指信息能量在经过小波变换后在各个尺度上的分布并不是平均分布，而是与小波变换幅度的平方的积分成正比。信息能量分布的比例性为设计小波重构算法提供了基础。

13.4.3 多分辨率分析(MRA)

多分辨率分析也被称为多尺度分析，是小波变换理论中的核心内容，其核心思想是：对于函数 $f(x)\in L^2$，可以看作某一级逐级逼近的极限。每级逼近都是用某一低通滤波函数 $\phi(x)$ 对 $f(x)$ 作平滑的结构，逐级逼近的滤波函数 $\phi(x)$ 可作逐渐伸缩，即用不同的分辨率或不同的尺度来逐级逼近 $f(x)$。多分辨率分析的主要路径是：先从 L^2 的某个子空间出发，并在子空间中建立一个基底，然后利用一个极为简单的变化，将此基底扩充到 L^2 中的其他子空间中去。

本章是针对二维离散数字图像进行小波变换，因而着重分析一下二维多分辨率分析的思想。

1. 二维 MRA 定义

定义 4 对有限能量信号 $f(x,y)\in L^2(R^2)$，在闭子空间序列 $(V_j^2)_{j\in z}$ 上满足以下性质：

(1)线形性。设 P^j 是信号 $f(x,y)$ 在子空间 V_j^2 上的逼近算子，有

$$P^j[P^jf(x,y)]=P^jf(x,y) \tag{13-21}$$

(2)正交性。在分辨率 2^j 上的所有被分析函数中，如果 $P^jf(x,y)$ 是最相似于 $f(x,y)$ 的，即对任意的 $g(x,y)\in V_j^2$ 有

$$\| g(x,y)-f(x,y) \| \geqslant \| P^jf(x,y)-f(x,y) \| \tag{13-22}$$

恒成立。

(3)单调性(因果性)。

$$V_j^2\in V_{j+1}^2,\forall j\in Z \tag{13-23}$$

(4)伸缩不变性。

$$f(x,y)\in V_j^2 \Leftrightarrow f(2x,zy)\in V_{j+1}^2 \tag{13-24}$$

(5)平移不变性。对信号 $f(x,y)$ 的二维 MRA，$P^jf(x,y)$ 可以用单位矩形内的 $2^j\times 2^j$ 个抽样值来表征，如果 $f(x,y)$ 平移正比于 2^j 的长度，则 $P^jf(x,y)$ 的平移量亦然，即可用相同数量的抽样值来表征。对全部的 $j,k\in z$ 有：

$$\begin{gathered} P^jf(x,y)\in V_j^2 \Leftrightarrow P^jf(x-2^jk,y)\in V_j^2 \\ P^jf(x,y)\in V_j^2 \Leftrightarrow P^jf(x,y-2^jk)\in V_j^2 \\ P^jf(x,y)\in V_j^2 \Leftrightarrow P^jf(x-2^jk,y-2^jk)\in V_j^2 \end{gathered} \tag{13-25}$$

(6)逼近性。

$$\bigcup_{j=\infty}^{-\infty} V_j^2=L^2(R^2),\ \bigcap_{j=\infty}^{-\infty} V_j^2=\{0\} \tag{13-26}$$

则称闭子空间序列 $(V_j^2)_{j\in z}$ 是 $L^2(R^2)$ 上得一个二维 MRA。

2. 二维 MRA 算法(Mallat 算法)

二维 MRA 算法是在一维 MRA 算法的基础上进行的，是先对行进行一维 MRA 算法然后再对列进行一维 MRA 算法，或者先对列进行一维 MRA 算法然后再对行进行一维 MRA 算法。我们以图框的形式给出二维 MRA 算法的正过程和逆过程(图 13-13 二维 MRA 算法)。

其中：G 是细节小波函数，H 是尺度小波函数，G^* 是 G 的对偶函数，H^* 是 H 的对偶函数；$\odot$ 表示小波变换的分解过程(正过程)，$\oplus$ 表示小波变换的重建过程(逆过程)。

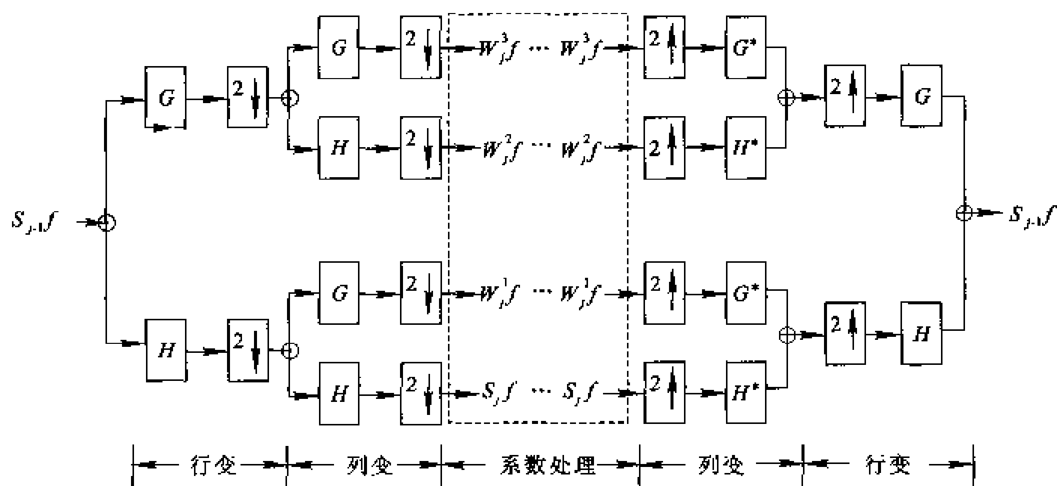


图 13 - 13 二维 MRA 算法

13.5 小波最佳尺度的确定

13.5.1 小波函数的选择

从图 13 - 13 中可以看出，小波函数的选择问题实质是选取细节小波函数和尺度小波函数及其他们的对偶函数，本节从以下两方面进行分析。

1. 几种常见的小波函数及其性质的对比分析

在众多的小波函数家族中，有一些小波函数被证明在实践中是非常有效的，这些小波函数包括：Marr 小波、Daubechics 小波、Biorthgonal 小波、Mexican Hat 小波和 Meyer 小波。这些小波的尺度函数和小波函数如图 13 - 14 所示。

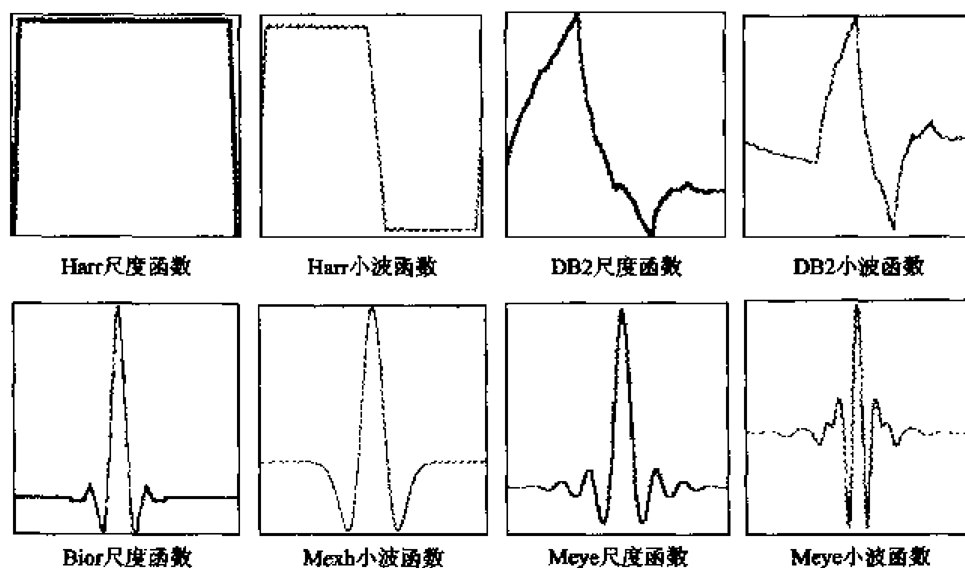


图 13 - 14 常见小波及其尺度函数

对小波的性质进行衡量，必须具有衡量的指标。这些衡量标准主要包括：紧支撑性、对称性、正交性、双正交性、小波函数的消失矩和尺度函数的消失矩及其适用范围等。上述小波在这些性质方面的对比分析如表 13－2 所示。

表 13－2　常用小波的性质对比分析

小波函数	Harr	Daubechies	Biorthgonal	Mexican Hat	Meyer
正 交 性	正交	正交	不正交	不正交	正交
双正交性	双正交	双正交	双正交	不双正交	双正交
紧支撑性	紧支撑	紧支撑	紧支撑	不紧支撑	不紧支撑
对 称 性	对称	远不对称	对称	对称	对称
支撑长度	1	2N－1	重构：2Nr＋1 分解：2Nd＋1	无限长度	无限长度
滤波器长度	2	2N	Max(2Nr，2Nd)＋2	[－5，＋5]	[－8，＋8]
小波函数消失矩阶数	1	N	Nr－1	—	—
尺度函数消失矩阶数	—	—	—	—	—
离散小波变换	可以	可以	可以	可以	可以
连续小波变换	可以	可以	可以	不可以	可以

注：Nr 是重构的阶数，Nd 是分解的阶数

小波函数的正交性是信号经过小波变换过程中，能量是否损失的标志；紧支撑性说明小波函数的有效宽度；对称性则说明小波函数中点的对称性，对称小波在时域上没有特定的方向，非对称性小波在不同的方向上具有不等权重，经验表明对称小波函数多用于图像处理领域；而小波函数的消失矩阶数刻画了信号能量分布情况。

2. 边缘特征提取对小波函数的要求

从遥感要素场 NOAA-SST 和 MODIS-SST 中提取海洋锋的边缘信息，首先要保证小波函数能够执行离散的小波变换，Mexican Hat 小波变换就很难满足要求；其次，信号的边缘信息属于高频信息，在信息的转化过程中是最容易丢失的信息，感兴趣信息的丢失是最不愿意看到的。因此在小波变换的过程中，必须保证能量的无损转换；海面温度场在各个方向上是均质的，因此不具有任何的方向性；最后，边缘信息的能量越是集中到越少的小波系数中，对我们提取特征信息越是有利。因而，从遥感要素场中提取海洋锋信息要求的小波函数必须具有正交性、对称性、紧支撑性和低阶消失矩性，并能够适用于二维离散数字图像。

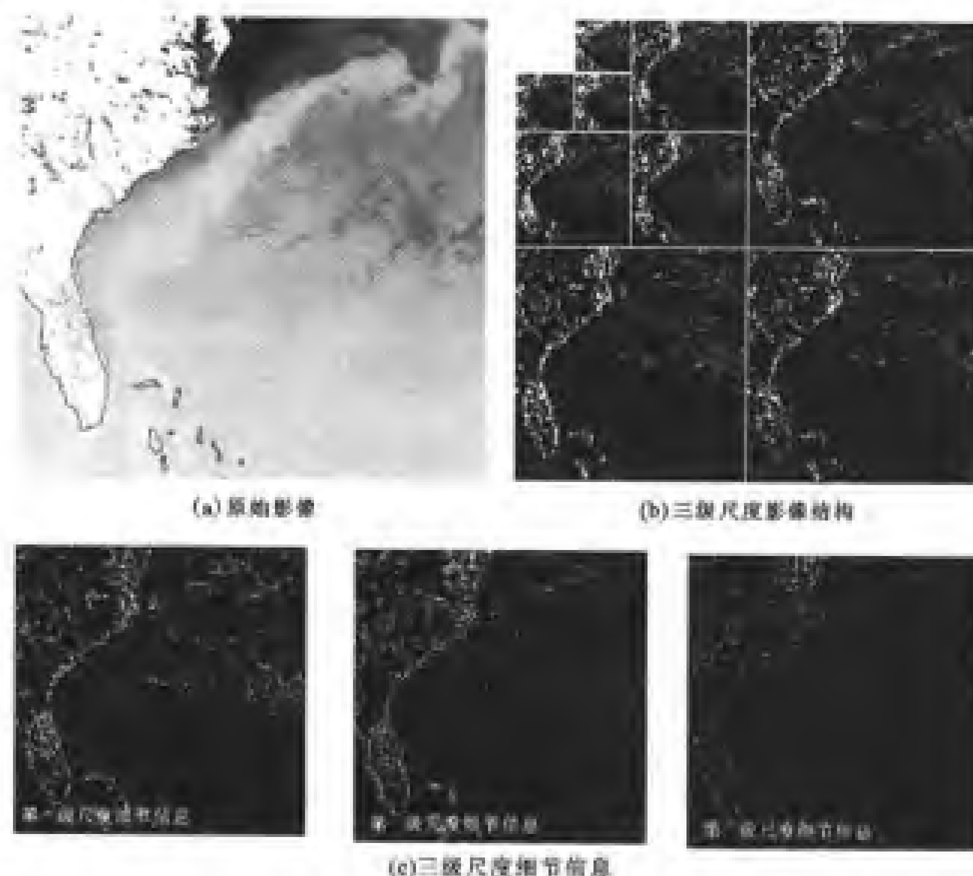
综合边缘特征提取对小波函数的要求和表 13－1 几种小波函数的性质，选择 Harr 小波函数进行特征信息的提取是较为理想的。

13.5.2　尺度与特征边缘的关系

原始信号经过小波变换后形成一系列的子尺度空间，每一个子尺度空间都包含原始信号的近似信息和细节信息。近似信息对应于原始信号的低频部分，而细节信息对应于原始的高频部分，即对应于信号的边缘特征信息。根据二维 Mallet 算法，系列的子尺度

空间具有单调性，即高尺度空间信息是由低尺度空间的信息综合概括而形成，更宏观综合反映了原始信息；而低尺度空间的信息反映了原始信息的细节信息，且低一级尺度空间的信息包含了高一级尺度空间的所有信息。

原始信号经过小波分解后，每一个尺度的小波变换都提供了边缘信息。尺度较小时，图像的边缘信息较为丰富，边缘定位精度较高，但容易受到噪声的干扰；尺度较大时，图像的边缘稳定，抗噪性能较好，但定位精度较差。而且边缘信息在各个尺度间具有传播特性或继承性，即在小尺度上的边缘点在大尺度有所保留。图 13－15 分别给出了墨西哥湾流的 SST、经过 Harr 小波变换生成的三级尺度图像结构和经过 Harr 小波变换生成三个方向（水平、垂直和对角线）三级尺度的细节影像信息，并经过 Harr 小波逆变换生成的三级尺度细节信息。



(a)原始影像　(b)三级尺度影像结构

(c)三级尺度细节信息

图 13－15　墨西哥湾温度场

噪声信息和边缘信息一样也是高频信息，在特征边缘提取的过程中，噪声对边缘的提取有着重大的影响。在边缘提取的时候，务必消除噪声带来的干扰，否则很难提取到理想的效果。因而，在探讨多尺度特征边缘信息提取之前，有必要讨论噪声在各个尺度上的分布情况。

噪声信息是一种随机现象，它与边缘信息存在着本质的差别。图像的边缘信息具有内在的连续性，也决定了边缘信息在各个尺度间具有传播的特性或者是继承性，使得在小尺度上部分的边缘点在尺度上得以保留。而噪声信息是一种随机现象，这种随机特性

使噪声信息成为了一些孤立点。孤立点信息在各个尺度间的分布呈现较强的消弱趋势，即在某尺度空间存在这种孤立点信息，随着尺度的增加，孤立点信息消失。因而，噪声信息在各个尺度空间上的分布也就有这种消失性，这是与边缘点信息在各个尺度空间的分布存在的本质差别，也是从边缘信息点中消除噪声点的理论前提。图 13-16 给出了一维噪声信息经过 Harr 小波变换后在各个尺度间的分布。其中红色代表原始噪声信息，黄色代表经过 Harr 小波变换后的噪声信息，为了更直观的观测噪声信息的消失情况，把小波变换后的噪声信息叠加到了原始噪声信息上。

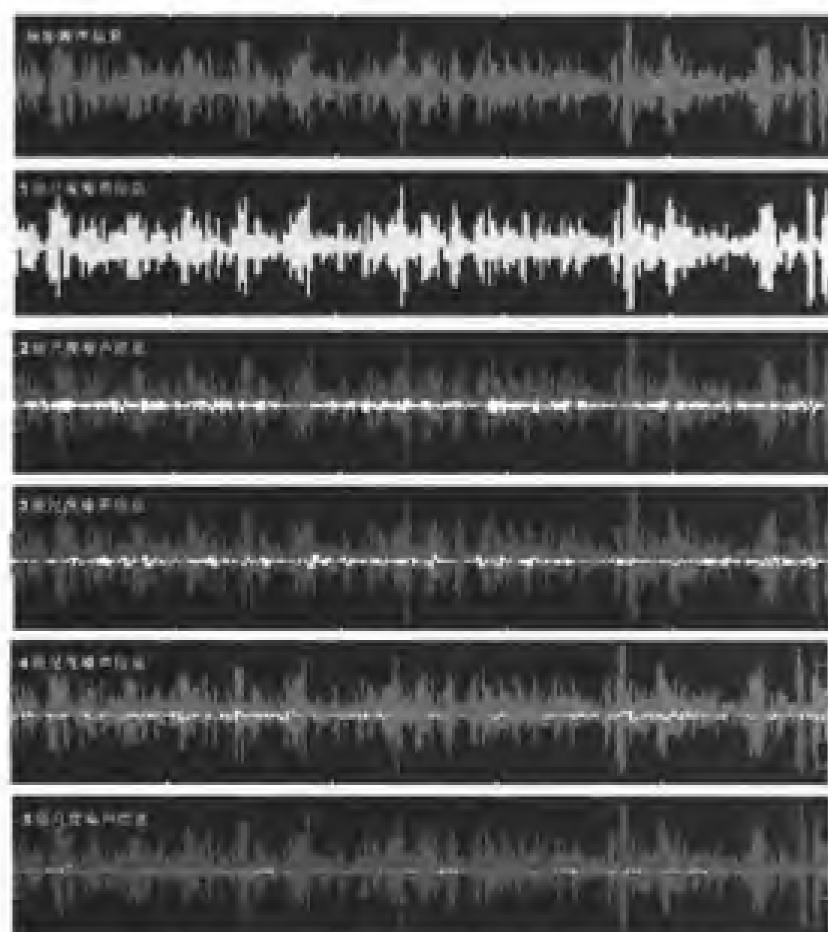


图 13-16　噪声信息在各个尺度空间上的分布

13.5.3　最佳尺度确定的自适应算法

多尺度特征边缘提取的最佳尺度是指从小波变换生成的序列尺度中选取的一个尺度或者几个尺度进行综合，能够在抑制噪声的同时把边缘信息提取出来，且保证在定位精度和边缘的连续性上都能取得较为理想的效果。用小波变换对图像进行多尺度边缘检测，得到的多尺度边缘特征图表征了图像中不同强度和大小结构的图像。正如 13.5.2 中分析那样，尺度较小时，图像的边缘信息较为丰富，边缘定位精度较高，但容易受到噪声的干扰；尺度较大时，图像的边缘稳定，抗噪性能较好，但定位精度较差。而且边缘信息在各个尺度间具有传播特性或继承性，即在小尺度上的边缘点在大尺度有所保留。要

想从多尺度的边缘特征图中提取出最理想的边缘效果，要将各个尺度的边缘图像综合起来，发挥大小尺度的优势，进行各尺度边缘特征图像的融合。

因而，最佳尺度确定的自适应算法主要包括以下步骤：

(1)小波变换最大尺度(MaxScale)的确定；

每一次的小波变换都提供了图像的边缘信息，但并不是小波变换的次数愈多，对最终的图像边缘提取效果就更好。图像每一次的小波变换，原始图像的信息能量都被分成近似信息能量和细节信息能量，无论是近似信息能量还是细节信息，其能量都逐渐衰减。这种能量的衰减速度与原始图像信息的多尺度特征密切相关。利用相邻尺度间能量的衰减大小作为小波变换最大尺度(MaxScale)的确定指标。

(2)$j=0$；j 为小波变换的尺度；

(3)对原始图像 $f(x,y)$进行 Harr 小波变换，生成近似图像(A_j)和细节图像(水平细节图像 H_j、垂直细节图像 V_j和对角线细节图像 D_j)；

(4)对生成的近似图像(A_j)再进行 $Harr$ 小波变换，生成 $j+1$ 级尺度的近似图像(A_{j+1})和细节图像(水平细节图像 H_{j+1}、垂直细节图像 V_{j+1}和对角线细节图像 D_{j+1})；

(5)对生成的 $j+1$ 级尺度的水平细节图像 H_{j+1}垂直细节图像 V_{j+1}和对角线细节图像 D_{j-1}分别设定阈值 T_H、T_V和 T_D来提取 $j+1$ 级尺度上的边缘图像；

(6)$j=j+1$，如果 $j<$MaxScale，则转到步骤(3)，否则继续执行下面的步骤；

(7)对水平细节图像 H_j序列，($j=0,1,\cdots,$MaxScale)从 $j=0$ 开始，设定图像边缘阈值 T_H，像素值大于阈值认为是边缘点，小于阈值的认为是非边缘点，$j=j+1$，继续搜索 H_j图像边缘点，直至到 $j<$MaxScale；在细节图像序列中若图像的边缘点随着 j 的增加，消失得比较快，则认为是噪声点，并进行剔除，最后把所有的边缘点连接起来，形成水平细节边缘图像(H)；

(8)对垂直细节图像 V_j序列，($j=0,1,\cdots,$MaxScale)从 $j=0$ 开始，设定图像边缘阈值 T_V，像素值大于阈值认为是边缘点，小于阈值的认为是非边缘点，$j=j+1$，继续搜索 V_j图像边缘点，直至到 $j<$MaxScale；在细节图像序列中若图像的边缘点随着 j 的增加，消失得比较快，则认为是噪声点，并进行剔除，最后把所有的边缘点连接起来，形成垂直细节边缘图像(V)；

(9)对对角线细节图像 D_j序列，($j=0,1,\cdots,$MaxScale)从 $j=0$ 开始，设定图像边缘阈值 T_D，像素值大于阈值认为是边缘点，小于阈值的认为是非边缘点，$j=j+1$，继续搜索 D_j图像边缘点，直至到 $j<$MaxScale；在细节图像序列中若图像的边缘点随着 j 的增加，消失得比较快，则认为是噪声点，并进行剔除，最后把所有的边缘点连接起来，形成对角细节边缘图像(D)；

(10)对(7)、(8)和(9)分别生成的水平细节边缘图像(H)、垂直细节边缘图像(V)和对角线细节边缘图像(D)执行 Harr 小波逆变换，生成最终的特征边缘图像。

上述最佳尺度的自适应算法，可以用图 13－17 所示的流程图表示。

在上述的算法流程图中，可以看出有两个关键的操作步骤：序列水平细节图像 H_j、序列垂直细节图像 V_j和序列对角线细节图像 D_j各自序列阈值(T_H、T_V和 T_D)的确定和从各自的序列图像中进行噪声剔除并生成最终水平细节图像(H)、垂直细节图像(V)和对角线细节(D)。

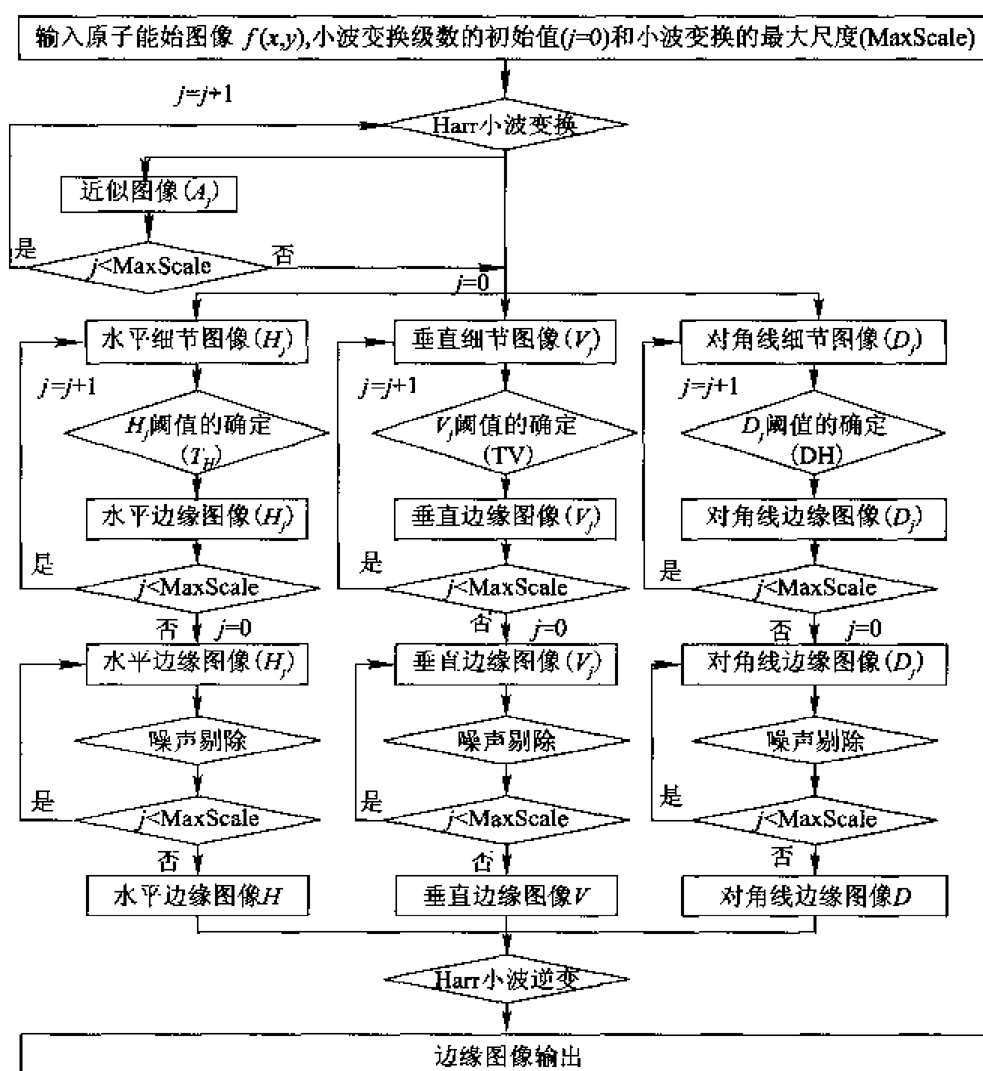


图 13－17　最佳尺度自适应确定流程图

阈值的确定方法包括软阈值和硬阈值两种方法，所谓的软阈值方法主要是根据边缘像素点与非边缘像素点之间的差异性，系统自己确定阈值的算法。所有大于阈值的点被认为是边缘点，否则被认为是非边缘点。在一幅影像中同时存在各种类型的边缘，应用同一个阈值进行边缘的提取很难达到理想的效果，因此运用软阈值的方法进行边缘的提取能够取得很好的效果。相对于软阈值来说，硬阈值的方法是根据视觉的效果，人为地设定一个阈值来进行边缘的提取。应用硬阈值的方法对边缘点特征较为明显的边缘能够很好的提取，对较为复杂的边缘没有软阈值方法好。但硬阈值方法，设计简洁，计算简单，在实际的应用中可广泛采取。

从序列的细节图像（水平序列图像、垂直序列图像和对角线序列图像）中，进行噪声剔除，并最终生成边缘图像的基本思想是根据边缘特征和噪声特征在各个尺度间的分布存在的差异。

13.6 小波提取试验结果与结论

13.6.1 试验数据

以下将以黑潮(见图 13-18)与墨西哥湾流(见图 13-19)为试验对象。黑潮流域南北跨度约 16 个纬度,东西跨度约 20 个经度。黑潮流幅的平均空间尺度约为 150 km,在日本列岛南面海域,黑潮流幅的最大空间尺度可达 200~300 km,黑潮边缘锋横断面的宽度约为 20~30 km。墨西哥湾流也称湾流,流幅的平均空间尺度约为 80~150 km,边缘锋横断面的宽度也约为 20~30 km。

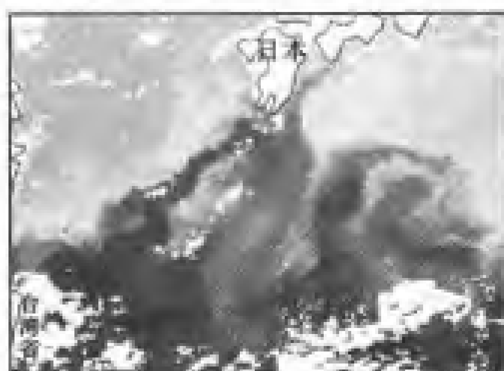
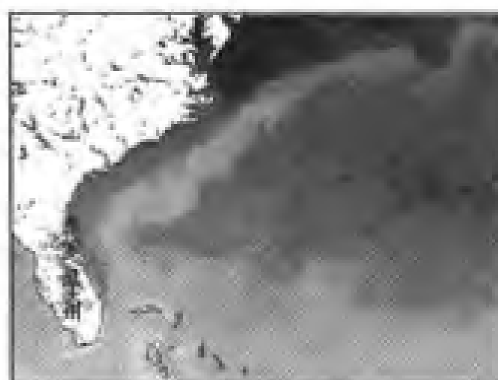


图 13-18 黑潮流域遥感图像


图 13-19 湾流流域遥感图像

选取的试验数据分别是 2002 年第 19 周的 NOAA SST(Sea Surface Temperature)数据和 2003 年第 129 天至第 137 天的 MODIS/Aqua SST 栅格数据。其中实验数据是由 NASA PO. DAAC(The Physical Oceanography Distributed Active Archive Center)提供的 AVHRR Pathfinder SST 资料。NOAA-SST 数据的时间分辨率是 8 day,空间分辨率是 9 km,而 MODIS-SST 数据的时间分辨率是 Weekly,空间分辨率是 4 km。部分功能采用 Visual C++6.0 从底层开发,并集成在自主开发的海洋地理信息系统软件 MaXplorer1.0 上。

13.6.2 试验结果

对图 13-19 墨西哥湾流流域的 SST,采用 Harr 小波进行 3 级尺度分解。图 13-20(a)至图 13-20(c)分别给出了经小波变换后的 1 级水平细节图像、垂直细节图像和对角线细节图像;图 13-21(a)至图 13-21(c)分别给出了原始墨西哥湾流 SST 影像图经小波变换后的 2 级水平细节图像、垂直细节图像和对角线细节图像;图 13-22(a)至图 13-22(c)分别给出了原始 SST 影像图经小波变换后的 3 级水平细节图像、垂直细节图像和对角线细节图像。图 13-23(a)给出了图 13-20(a)、图 13-21(a)和图 13-22(a)在 Visual C++6.0 经过小波系数阈值选择和噪声剔除后的墨西哥湾流水平细节图像。图 13-23(b)给出了图 13-20(b)、图 13-21(b)和图 13-22(b)经过小波系数阈值选择和噪声剔

除后的墨西哥湾流垂直细节图像。图 13－23(c)给出了图 13－20(c)、图 13－21(c)和图 13－22(c)经过小波系数阈值选择和噪声剔除后的墨西哥湾流对角线细节图像。图 13－24 是图 13－23(a)、图 13－23(b)和图 13－23(c)经过 Harr 小波逆变换形成的最终边缘图像。

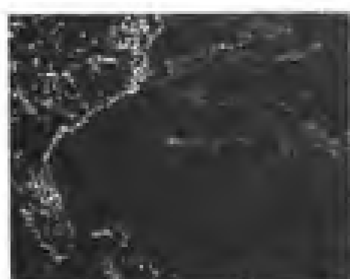


图 13－20(a)　1 级水平细节图

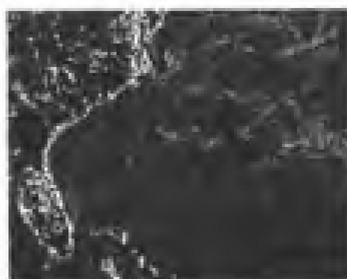


图 13－20(b)　1 级垂直细节图

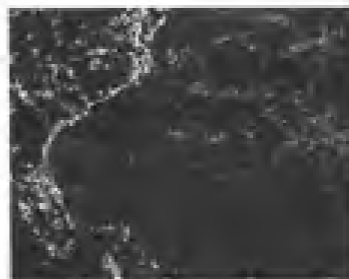


图 13－20(c)　1 级对角线细节图



图 13－21(a)　2 级水平细节图

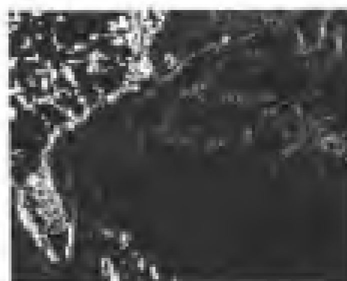


图 13－21(b)　2 级垂直细节图

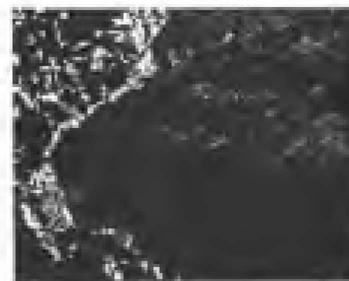


图 13－21(c)　2 级对角线细节图



图 13－22(a)　3 级水平细节图



图 13－22(b)　3 级垂直细节图

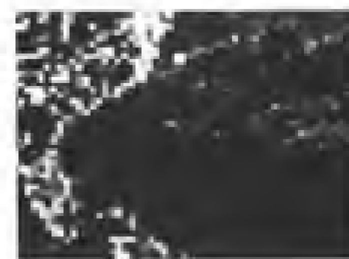


图 13－22(c)　3 级对角线细节图



图 13－23(a)　水平细节图像

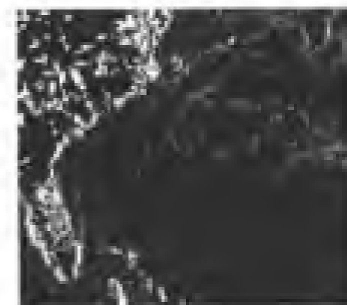


图 13－23(b)　垂直细节图像

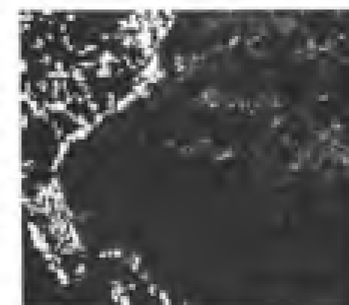


图 13－23(c)　对角线细节图像



图 13－24　墨西哥湾边缘图像

从图 13－20 到图 13－22 可以看到，在不同的尺度空间上提取出不同尺度的边缘信息。在序列空间尺度图像上经过边缘点的选择和噪声点的剔除，得到各空间尺度上的边缘图像（见图 13－23），然后经过 Harr 小波逆变换得到最终的边缘图像（图 13－24），该图像能够较为清晰地反映各种尺度的边缘。

利用相同的方法，对黑潮流域 SST 做同样的实验。图 13－25 分别给出了黑潮锋的 1 级水平细节图像、垂直细节图像和对角线细节图像；图 13－26(a)、图 13－26(b)、图 13－26(c)分别给出了原始遥感影像黑潮锋的 2 级水平细节图像、垂直细节图像和对角线细节图像；图 13－27(a)、图 13－27(b)、图 13－27(c)分别给出了 3 级水平细节图像、垂直细节图像和对角线细节图像。图 13－28(a)、图 13－28(b)、图 13－28(c)分别给出了相应的水平细节图像、垂直细节图像和对角线细节图像。图 13－29 是遥感影像黑潮锋的最终边缘图像。



图 13－25(a)　1 级水平细节图像

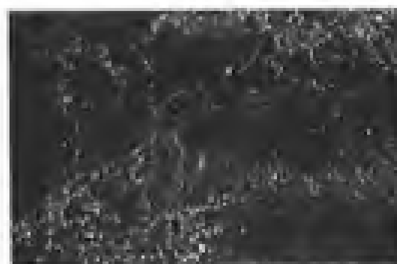


图 13－25(b)　1 级垂直细节图像

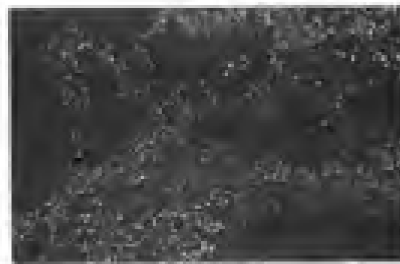


图 13－25(c)　1 级对角线细节图像



图 13－26(a)　2 级水平细节图像

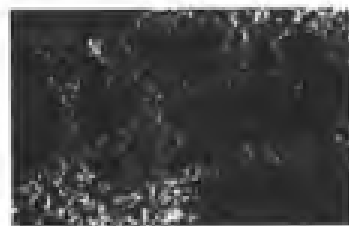


图 13－26(b)　2 级垂直细节图像



图 13－26(c)　2 级对角线细节图像



图 13－27(a)　3 级水平细节图像



图 13－27(b)　3 级垂直细节图像



图 13－27(c)　3 级对角线细节图像



图 13 - 28(a)　水平细节图像



图 13 - 28(b)　垂直细节图像

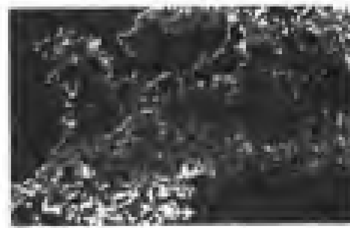


图 13 - 28(c)　对角线细节图像

13.6.3　典型边缘提取算子的比较

梯度算子的基础是基于数字差分的思想，利用数字图像的一阶导数和二阶导数的近似值来计算图像或信号的梯度。选用的梯度算子是在长期的实践和试验中被证明的典型算子，这些算子主要包括 Kirsch 算子，Gauss-Laplace 算子，Sobel 算子，Prewitt 算子和 Robert 算子。其数字模板的形式如图 13 - 30 所示。

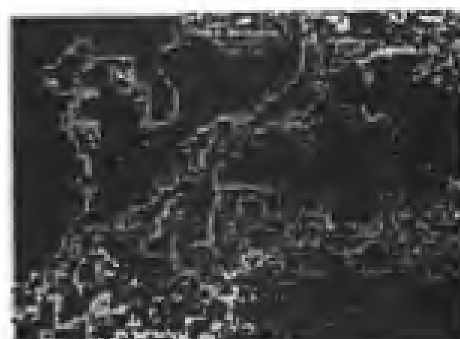


图 13 - 29　黑潮锋的边缘图像

$$\begin{pmatrix}5&5&5\\-3&0&-3\\-3&-3&-3\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-3&-3&5\\-3&0&5\\-3&-3&5\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-3&5&5\\-3&0&5\\-3&-3&-3\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-3&-3&-3\\-3&0&5\\-3&5&5\end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix}-3&-3&-3\\-3&0&-3\\5&5&5\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-3&-3&-3\\5&0&-3\\5&5&-3\end{pmatrix}\begin{pmatrix}5&-3&-3\\5&0&-3\\5&-3&-3\end{pmatrix}\begin{pmatrix}5&5&-3\\5&0&-3\\-3&-3&-3\end{pmatrix}$$

Kirsch算子

$$\begin{pmatrix}-1&-1&-1\\0&0&0\\-1&-1&-1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-1&0&1\\-1&0&1\\-1&0&1\end{pmatrix}$$

Prewitt算子

$$\begin{pmatrix}-2&-4&-4&-4&-2\\-4&0&8&0&-4\\-4&8&24&8&-4\\-4&0&8&0&-4\\-2&-4&-4&-4&-2\end{pmatrix}$$

Guass算子

$$\begin{pmatrix}-1&-2&-1\\0&0&0\\1&2&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-1&0&1\\-2&0&2\\-1&0&1\end{pmatrix}$$

Sobel算子

$$\begin{pmatrix}1&0\\0&-1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0&-1\\1&0\end{pmatrix}$$

Robert算子

图 13 - 30　典型梯度算子的模板形式

运用这些典型的梯度算子对墨西哥湾流 SST 图进行了处理，处理结果如图 13 - 31(a)至图 13 - 31e)所示，并与基于 Harr 小波 3 级尺度变换提取的边缘图像进行对比分析，分析结果如表 13 - 3 所示。

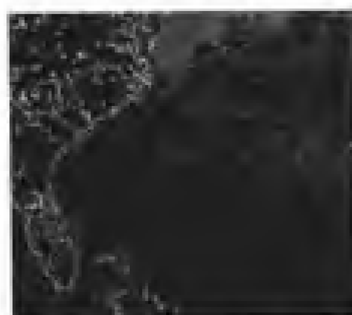


图 13 - 31(a)　Kirsch 算子梯度图

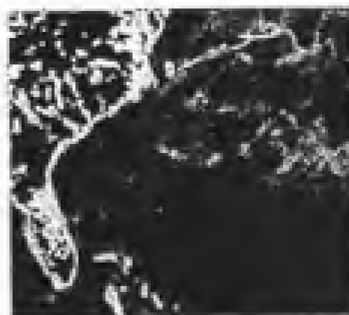


图 13 - 31(b)　Guass 算子梯度图

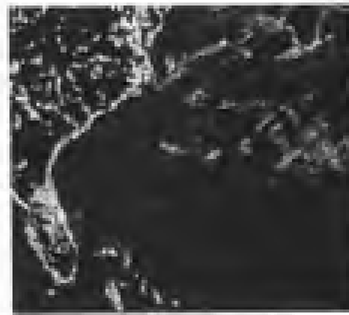


图 13 - 31(c)　Sobert 算子梯度图

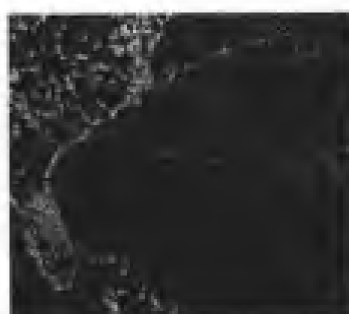


图 13-31(d) Prewitt 算子梯度图

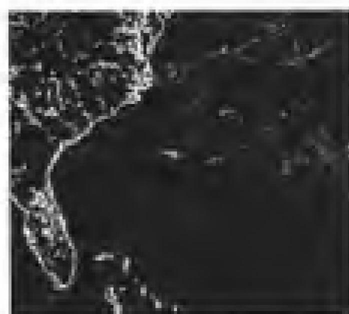


图 13-31(e) Robet 算子梯度图



图 13-31(f) 墨西哥湾边缘图

表 13-3 梯度算子运算结果比较分析

	Harr 小波算子	Kirsch 算子	Guass 算子	Sobel 算子	Prewitt 算子	Robert 算子
信息量	能同时提取多尺度边缘信息	只能提取单一尺度边缘信息	只能提取单一尺度边缘信息	只能提取单一尺度边缘信息	只能提取单一尺度边缘信息	只能提取单一尺度边缘信息
稳健性	抗噪声能力与噪声剔除的算法有关	抗噪声能力一般，受噪声影响较大	抗噪声能力较差，受噪声影响较大	抗噪声能力很好，受噪声影响较小	抗噪声能力很好，受噪声影响较小	抗噪声能力很好，受噪声影响较小
定位精度	与阈值大小的选取有关	较低	非常低	精确	精确	精确

13.6.4 试验结论

通过对小波函数基本性质的分析，并运用系统软件进行试验，根据分析和试验结果可以得出如下几点结论：

(1)信息的分解性、重建性和信息能量在各个空间尺度上分布的比例性是利用小波变换进行边缘提取的基础。

(2)多尺度特征边缘在各个空间尺度上的分布具有内在的联系性，高尺度空间信息是由低尺度空间的信息综合概括而形成，更宏观综合反映了原始信息；而低尺度空间的信息反映了原始信息的细节信息，且低一级尺度空间的信息包含了高一级尺度空间的所有信息。

(3)噪声信息是一种随机现象，在遥感影像中表现为孤立点，孤立点信息不具有传播性，即孤立点信息随着尺度的增加，其信息的分布呈现较强的消弱趋势。

(4)Harr 小波具有正交性、对称性、紧支撑性和低阶消失矩性，并能够适用于二维离散数字图像的特性，因而能理想地应用于图像特征的边缘提取。

(5)海洋锋是强边缘和弱边缘共存的，利用边缘信息和噪声信息在各个尺度间分布特征和小波分析的基本理论，运用 Harr 小波进行海洋锋特征提取，能够取得较好的效果。

边缘信息经过小波的多尺度分解形成序列的水平细节图像、垂直细节图像和对角线细节图像，而序列的细节图像信息在各个尺度上的分布具有传播性或继承性，利用此性质，设计算法从序列细节图像中提取各种尺度的海洋锋信息；尽管噪声也属于高频信息（细节信息），但噪声在各个尺度间的分布不具有继承性，利用此性质，在序列尺度上把噪声信息剔除。

参考文献

1 Dempster, A. G, Di Ruberto, C. Using granulometries in processing images of malarial blood, Circuits and Systems, 2001. ISCAS 2001. The 2001 IEEE International Symposium on, 2001(5):291-294

2 Zheng Yi, Jiang Gangyi, Choi Tae Yong, Research of oriented pattern spectrum. Signal Processing, 1996, 3rd International Conference on, 1996(10):205-208

3 殷泽兴等. 基于数学形态学和神经元网格的货币识别. 上海交通大学学报, 1999(9):1 142-1 145

第14章　时空过程提取分析实例

本章主要是说明如何应用本书的时空数据模型进行海洋时空动态的提取、存储与可视化分析，其中14.1节介绍如何将时空数据模型中的线过程模型具体化，并给出实际应用例子，14.2节中主要介绍各种时空过程的可视化分析实例，并以线过程为例，可视化分析了东海黑潮锋的季节性形态变异。

14.1　线过程数据模型与实例

14.1.1　引　言

数据模型和数据结构是信息系统的灵魂，是构建信息系统的基石。静态GIS经过几十年的发展，其数据模型在存储和分析静态地理现象非常成熟，已广泛应用于许多领域。然而客观世界存在时空场，许多现象在时空域具有动态变化的特性，其属性、功能和关系在空间、时间和时空上是过程的统一体，并不是由独立的点、线和面组成。例如在研究大气水团的相互作用时，其水团及水团间的锋面；在研究海水入侵时，咸水的边界。这些现象并不是由一个曲线和曲面所刻画的，而是序列的具有内在联系的过程线和过程面。其锋面和锋线上任意点的属性、功能和关系在时空上是连续变化的，利用静态的GIS数据模型来存储和分析，这种具有时空过程特性的地理现象面临许多挑战。

近年，国内外的学者对时空数据模型进行了大量研究，尝试描述和刻画现象的动态特性。Pavlopoulos和Theodoulidis在TimeLab技术报告中详细探讨了9种常用的时空数据模型：时空快照模型、时空复合模型、基于时间戳数据模型、面向事件数据模型、历史图形模型、三域模型、移动目标的时空模型、时空实体关系模型和时空面向对象模型，对比分析了各个模型的优缺点和应用的领域；Torill Hamre(1995，1997)在设计海洋信息系统的过程中，从数据的分析到模型的设计也提出面向对象的海洋时空数据模型；ESRI在2005年6月份全面系统的提出了海洋数据模型(Marine Data Model Beta)试行版，对海洋现象的动态特征进行描述与分析。基于特征的方法和面向对象的技术在时空数据模型设计和应用方面也得到重视，并取得很好的效果。陆锋(2001)和崔伟宏(2004)等探讨了基于特征的时空数据模型在动态现象中的应用(陆锋　2001；崔伟宏　2004)；林广发(2004)等提出以事件为核心的面向对象的时空数据模型，在分析地理现象的动态特征方面取得很好的效果。这里我们将细化本书提出的时空过程模型，以刻画过程内部关系，表达其在时空中的形态与属性，以下以线过程为例进行阐述。

线过程的时空性是时空场的重要部分，线过程时空模型的研究对整个时空场时空数据模型研究具有重要意义。在面向对象技术的基础上，本章提出和设计基于特征的线过

程时空数据模型，进一步进行线过程时空数据存储、时空数据查询、时空数据抽取、时空插值、时空数值模拟和时空数据可视化等方面的探讨，实现线过程时空规律的重现。

14.1.2 特征内涵与面向对象技术

1. 特征内涵

特征是现实世界中现象和现象表达的高度概括和抽象，是实体表达的基本单元。现实世界中任何对象都由特征来表达，特征有特征属性和特征操作构成，而特征的实例化构成现实世界中对象实体。特征的内容包括3个方面的内容：①特征包含特征类型和特征实例两个层次。特征类型是指具有共同属性、功能和关系的地理现象，是抽象的数据类型；特征实例是特征类型的具体实例化，是具有共同属性、功能和关系的地理实体目标；②特征是空间、时间和时空3个维的统一体。客观世界存在时空场，是任何地理实体必不可少的依存场域。只有在空间、时间和时空上分析地理实体的属性、功能和关系，才能刻画和重现地理实体内在规律；③特征包含属性、功能和关系3方面的内容。特征属性记录特征的基本概念；特征功能是特征的基本操作；而特征关系则是特征之间的关联规则。

2. 面向对象技术

而向对象技术中的"对象"是基于类的概念，结合特征具有以下特点：①特征(Feature)是数据模型和数据结构中最基本的单元；②特征与对象相对应，具有唯一标识(FID和OID)；③类是描述特征的属性、功能和关系，用来特征的实例化；④特征与特征之间通过功能进行关联，构建相互关联的地理实体。

基于特征时空数据模型的基本思想是把特征看作基本单元，采用面向对象技术设计特征的空间、时间和时空的属性、功能和关系及其实例间的关联。图14-1给出基于特征的时空数据模型框架。

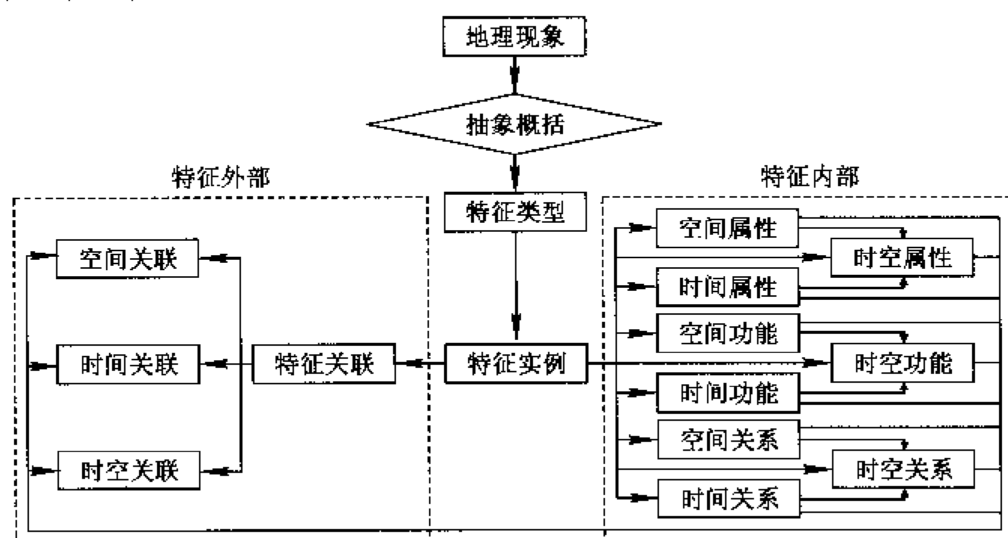


图14-1 基于特征时空数据模型框架

14.1.3 线过程时空数据模型

在客观存在的时空场中存在大量的线过程现象，其属性、功能和关系在空间、时间和时空上是过程的统一体，例如大气水团的交界线、海洋锋锋线和海水入侵的边界线等。这里以此类时空线过程现象作为研究对象，来探讨线过程的时空数据模型的概念模型、逻辑模型和物理模型。

1. 概念模型

客观世界中的线过程是线对象的属性（温度、盐度、密度、叶绿素等）、功能和关系在空间上(x,y,z)、时间(T)和时空上的动态变化过程。根据线对象的属性、功能和关系在空间、时间和时空上的变化特性，把客观存在的线过程对象抽象概括为3类线过程对象，每一类线过程对象又可细分为4个线过程类型。①空间维的线过程对象。空间维的线过程对象是在时间固定不变的前提下，线对象在X轴、Y轴、Z轴和空间立体上的变化特性，分别如图14-2中(a)、(b)、(c)和(d)所示；②时间维的线过程对象。时间维的线过程是在固定的X轴平面、Y轴平面、Z轴平面和空间立体上，线对象的产生、发展、成熟和消亡的整个过程，分别如图14-3中(a)、(b)、(c)和(d)所示；③时空维的线过程对象。时空维的线过程是线对象在在X轴、Y轴、Z轴和空间立体上的产生、发展、成熟和消亡的整个过程，分别如图14-4中(a)、(b)、(c)和(d)所示。时空维的线过程对象是最为复杂的时空线对象，时空维上的线过程是由空间维的线过程和时间维的线过程复合而成，并不是两者的简单叠加，它包含了时空的关联规则，刻画了线对象在时空上的完整过程。

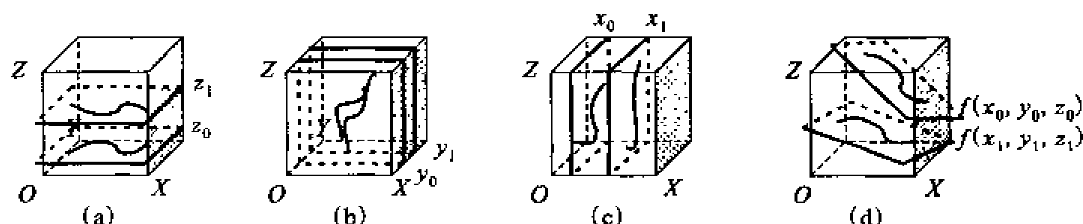


图14-2 空间维的线过程

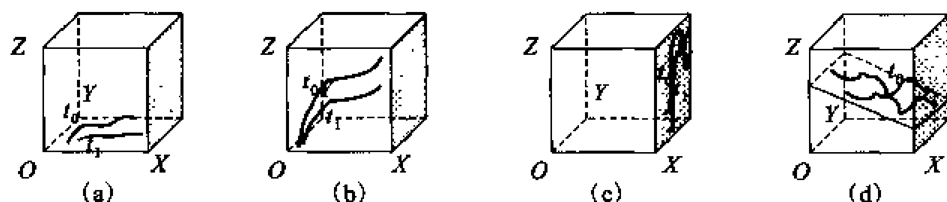


图14-3 时间维的线过程

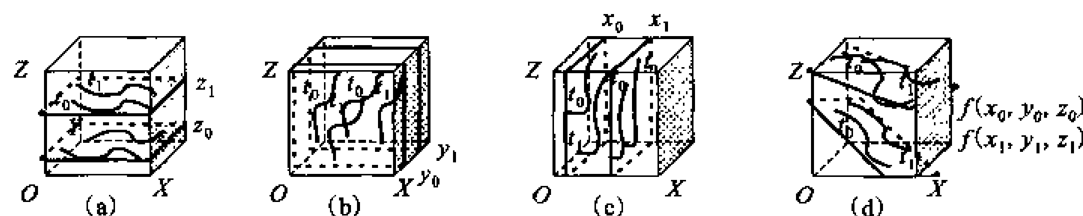


图14-4 时空维的线过程

2. 逻辑模型

在概念模型给出的线过程对象类型的基础上，把线过程对象抽象概括为特征，进一步建立属性、功能和关系在空间、时间和时空上的内部和外部关联规则。从概念模型的分析中，可以看出时空维的线过程是空间维和时间维的复合，其模型的设计最具有代表性。根据概念模型的分析和面向对象特征技术，应用 UML 技术设计基于特征的线过程时空数据模型的逻辑模型，见图 14-5。

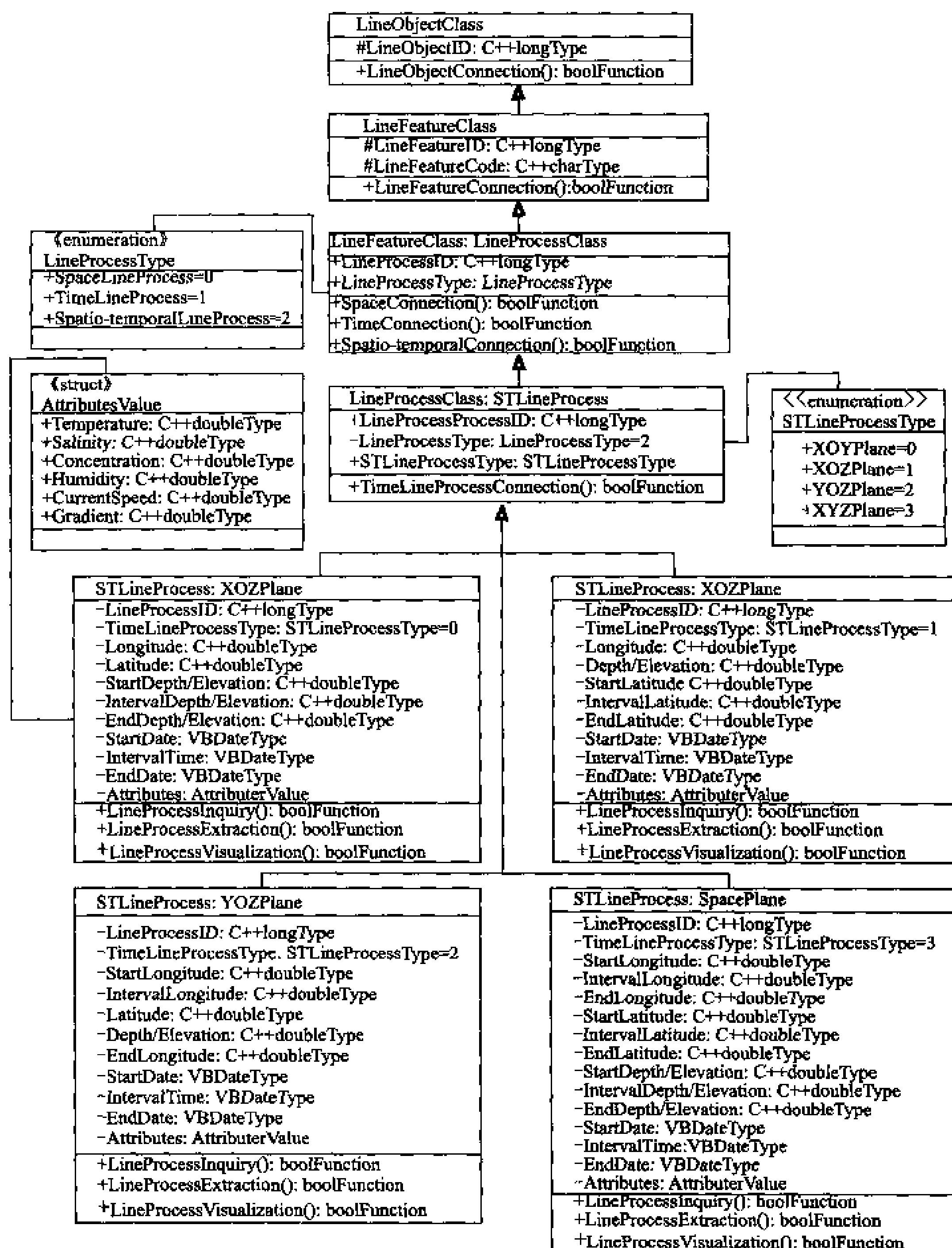


图 14-5　基于特征的线过程时空数据模型 UML 框架图

在图 14－5 中，LineObjectClass 是客观世界存在的线对象，LineFeatureClass 是客观存在线对象的抽象类；LineProcessClass 和 STLineProcssClass 继承 LineFeatureClass，具有基类的属性和特征；子类 XOYPlane、XOZPlane、YOZPlane 和 SpacePlane 是时空线过程类 STLineProcessClass 的具体实例化线对象，分别对应图 14－4 中时空维线过程的(a)、(b)、(c)和(d)类型；类 LineProcessType、STlineProcessType 和 AttributesValue 是外部类，前两者是枚举类型记录线过程类型（空间维、时间维和时空维）和时空维线过程类型，后者是结构体类型记录线过程上的物理属性值（温度、盐度、密度、湿度和梯度等）。

3. 物理模型

物理模型是对建立的 ER 模型实现数据的组织形式。线过程数据的属性、功能和关系在空间、时间和时空上一个动态过程，其属性的多重性和时空的立体性使得数据的组织与表达非常复杂。而文件结构具有多重属性表达的功能，即可利用文件层次分块模型进行线过程的时空组织与分析。其文件层次分块模型由文件头和数据部分组成，其头文件中包含线过程类型（3 种类型）和类型的线过程类别（4 种类别），每一类别采用不同的数据块进行存储，共有 12 个数据块。鉴于存储的复杂性，数据部分只给出在时空维的垂直方向上发生变化的线过程数据块。图 14－6 给出线过程的文件层次分块模型。



图 14－6 文件层次分块模型

14.1.4 实例研究-海洋锋时空分析

海洋锋是较为复杂的一类海洋线现象，其属性、功能和关系在空间、时间和时空上是过程的统一体。不仅其空间位置随时间发生变化，而且其物理属性值随时间也发生变化，充分体现了线过程的时空特性。这里以海洋锋为研究对象，进行线过程的数据组织，在此基础上进一步进行海洋锋的时空查询、时空过程提取、时空过程可视化和时空数值模拟及时空插值等。文中所有功能均在 Visual C++6.0 环境下编程实现，并集成在自主开发的海洋地理信息系统软件通用平台 MaXplorer1.0 下。

1. 海洋锋的数据组织

由于没有长时间的三维海洋测量数据，这里采用的海洋锋数据是从遥感影像数据(MODIS/NOAA)推测出来的温度锋，其铅直深度为模拟数据，其时间分辨率有 Daily，Weekly，Monthly 和 Yearly 等。根据图 14-6 所示的文件层次分块模型，以 NOAA 温度锋数据为例，时间范围 1985-01-01 至 2004-12-31，时间分辨率采用 Weekly。图 14-7 给出海洋锋的数据组织。



图 14-7 海洋锋的数据组织

2. 海洋锋时空过程查询

利用文件层次分块模型组织的海洋锋数据，文件头中包含海洋锋数据的空间信息和时间信息，记录每一垂直层数据大小、水平层数据大小和每一时间层数据大小；在模型的数据存储部分中，分层记录时间层数据、水平层和垂直层数据。因而，利用指针定位方法，海洋锋的时空数据查询功能容易实现。能够实现任意时刻 Time、某一深度 Depth 的海洋锋属性的查询和海洋锋上任意点属性的查询；能够实现任意深度 Depth、某一时刻 Time 海洋锋属性的查询海洋锋上任意点属性的查询；同时也能够实现任意时刻 Time、任意深度 Depth 海洋锋属性的查询和海洋锋上任意点属性的查询，其中任意时刻和任意深度是相对的，其大小取决于时间粒度和深度间隔。

在上述的 6 种时空查询功能上，以任意时刻任意深度海洋锋上任一点属性的查询最为复杂，以此为例来说明时空查询的一般过程。假定查询第二个时间段(Time=2)，第三层深度上(Depth=3)，经纬度分别为 X、Y 上的温度值，其查询过程为：①根据头文件

中 Off Set Size 的大小和 PerTime Layer Data Bolck Size 的大小，指针定位到时间层上；②根据头文件中 Per Water Layer Data Bolck Size 的大小，指针定位到深度层上；③根据经纬度(X,Y)，指针定位到具体位置；④从结构体 Attribute Values 中提取海洋锋的属性值。

3. 海洋锋时空过程提取

海洋锋的时空过程反映了海洋锋随时间变化的动态特征及时间上的内部关联，刻画海洋锋的时空变化规律。时空过程提取从海洋锋时空数据中抽取出某一时刻 Time、某一深度 Depth 的海洋锋对象；可以抽取出某一时刻 Time、深度序列上的海洋锋对象；也可以抽取出某一深度 Depth、时间序列上的海洋锋对象。图 14－8 给出了从 1985 年 1 月至 2004 年 12 月的海洋锋时空数据中抽取的时间是 2002 年第 19 周，深度是 0 m，空间位置是黑潮流域的温度锋(图 14－8 中的黑色线所示)。

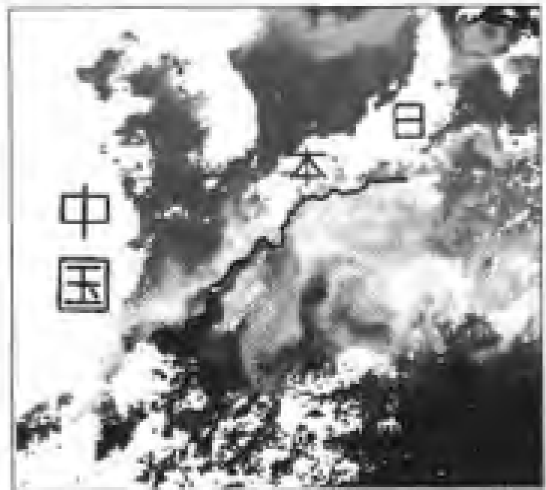


图 14－8　从时空数据库中提取的温度锋

4. 海洋锋时空过程可视化

可视化是抽象信息或符号经过计算机处理更加直观化的过程。海洋锋的多维动态特性使得海洋锋的时空可视化更为重要，能更为直观地分析海洋锋空间形态时间序列变化和某时刻海洋锋空间形态。时空过程的可视化技术可以采用多窗口显示、过程动态演进、时间剖面等，在 MaXplorer1.0 软件系统中，实现了海洋现象的过程动态演进功能。图 14－9 给出了深度为 0 m，时间分辨率为 Weekly，时间序列上的温度锋的生长、成熟到消亡的整个生命演进过程。

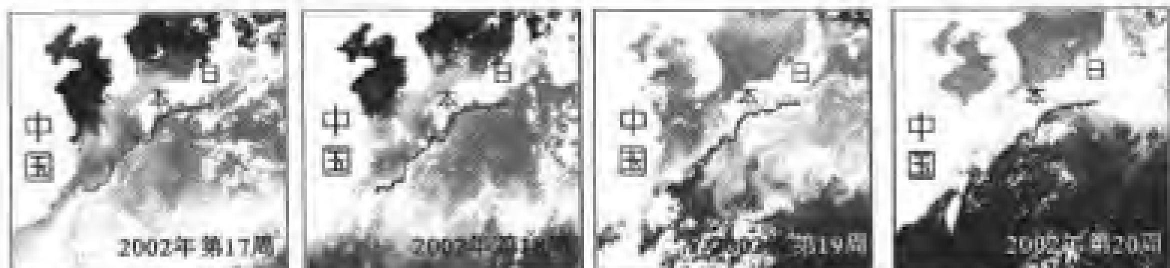


图 14－9　海洋锋的时空过程可视化

14.1.5　结　论

客观世界存在于时空场中，很多领域的研究涉及时空过程特性。传统的 GIS 时空数据模型在进行组织和表达具有多维动态特性的现象时存在一定的难度。本节从时空过程的线过程入手，在分析线过程特性的基础上，分析探讨线过程时空类型，进一步提出基于特征的线过程时空数据模型。在面向对象技术和 UML 技术支持下，设计该模型的 UML 框架图，提出文件层次分块模型进行线过程数据的组织与存储，并以海洋锋的组织

与表达作为实例进行分析基于特征的海洋线数据模型的可行性和有效性。试验结果表明，该模型在时空数据查询、时空过程数据抽取、时空过程数据可视化和时空数据数值模拟及时空数据插值方面具有很强的实用性。该模型首次对物理属性值和空间位置时刻都在发生变化的海洋线数据进行数据组织，以此为基础探讨了时空功能分析，取得了理想效果，是本书提出的海洋数据模型的重要组成成分。

14.2 可视化分析实例

本节分别利用 MaXplorer 1.0 平台，通过实例对点过程、线过程、面过程的可视化方法进行介绍，其中线过程可视化方法介绍得比较详细，而体过程可视化方法由于缺乏试验数据而没有用实例来说明，体过程方法的具体实现方法在前面章节已介绍，这里不再赘述。需要说明的是，本节目的在于展现 MaXplorer 1.0 的可视化分析功能。

14.2.1 点过程实例

本节点的过程实例是对中国近海不同位置、不同气候条件下海水温度的年际变化规律的比较，所用的数据为 2002 年全年的 NOAA（极轨气象卫星）数据，时间分辨率为 8 天，即图上横坐标是 8 天一个单位。通过点过程显示可以发现海水温度在不同纬度的变化规律以及海水温度随着纬度的变化而变化的规律。

1．渤海点过程

利用鼠标在渤海中心符近取一点，屏幕显示坐标为北纬 38°56′东经 120°05′。由于越靠近陆地海水的温度受陆地的影响越显著，这样取点可以最少地减少陆地对海水物理性质的影响。由图 14－10 可以看出一年的温度变化过程曲线可以近似拟合成正弦三角函数 $y=14+11\sin\left(x-\frac{34\pi}{45}\right)[0,2\pi]$，一年当中温度的最小值出现在第六个时间单位即大约为一年中的第 48 天左右即 2 月中旬，温度值大约为 3.5℃。最大值出现在 28 个时间单位即大约为一年中的第 224 天左右，即 8 月中旬，温度值大约为 25℃。水温上下幅度 22℃左右。所以一年中水温的升温过程是从 2 月中旬到 8 月中旬，8 月中旬之后直到下一年的 2 月为降温过程。在波峰、波谷处即 2 月和 8 月份温度浮动不大，基本保持恒定。从过程图中可看到曲线的整体的变化趋势比较平滑，只是局部偶尔有小的异常，比如说第 26 个单位和 27 个单位之间有一个明显的降温过程，以及第 42 个单位和第 43 个单位之间没有按照趋势变化，而是保持同一温度。这些异常可能是由异常天气或者涡旋造成的。

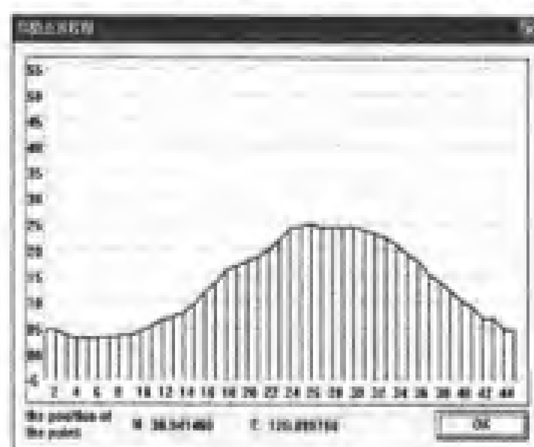


图 14－10 渤海点过程图

2. 东海点过程

东海中的取点位置大致为北纬 30°东经 124°，由图 14－11 可以看出其最低温出现在第 5 个时间单位即 2 月 10 号左右，温度为 13℃左右，最高温出现在第 26 和 28 个时间单位，温度为 28℃左右，水温变化幅度为 15℃左右。用三角函数拟合为 $y=20.5+7.5\sin\left(x-\frac{34\pi}{45}\right)[0,2\pi]$。图中可见，温度的最小值并没有严格的出现在波谷处，并且东海的海水温度变化比较活跃，曲线不够平滑，异常处比较多。比如，第 15 个时间单位有个强烈的增温，第 16 个时间单位又明显下跌，第 23 个时间单位明显降温，第 44 个时间单位明显升温，第 45 个单位又剧烈降温。这些小的变化可能是受局部海流的影响，也可能是受当时天气的影响，但是总体的水温变化趋势并没有受到影响。

3. 南海点过程

南海中的取点位置大致为北纬 17°东经 111°。由过程图 14－12 可以看出，南海水温一年中大部分时间保持在 25℃以上的高温。最低温度出现在第 6 个时间单位即 2 月中旬左右，温度为 24℃，最高温度出现在第 16 和第 20～25 个时间单位，温度大约为 30℃左右，升温时间是从第 6 个时间单位到第 14 个时间单位，即 2 月中旬到 4 月下旬。降温过程比较缓慢，从 7 月下旬开始缓慢降温，直到 12 月下旬温度才降到 25℃以下。12 月初才开始一个相对剧烈的降温过程。可见南海水温的最大特点是高温时间长，升温过程短，降温过程缓慢，所以也不适合用三角函数来拟合其变化曲线。

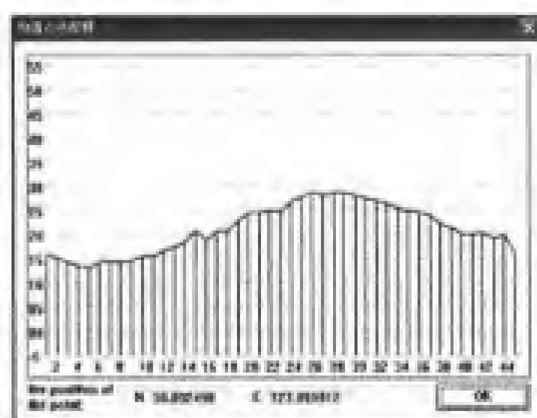


图 14－11　东海点过程

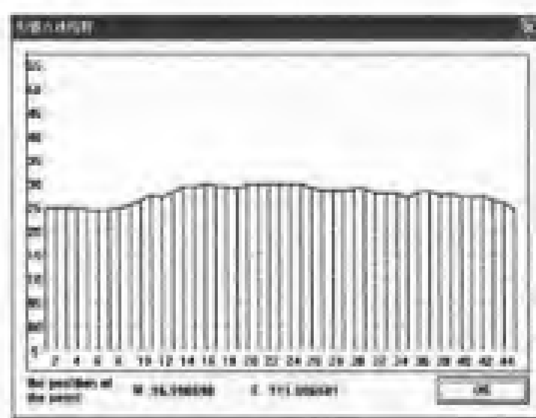


图 14－12　南海点过程

4. 三者的比较及结论

把三个海域的水温年变化曲线显示到一个坐标系里面进行比较分析，可以观察出更多的海水温度变化规律，见图 14－13。图中曲线分别代表渤海、东海、南海的水温变化过程。通过对比可见，随着纬度的降低，温度的年季变化幅度越来越小；曲线波谷处的温度差别最大，波峰处的差别最小；纬度越低温度变化曲线越曲折。

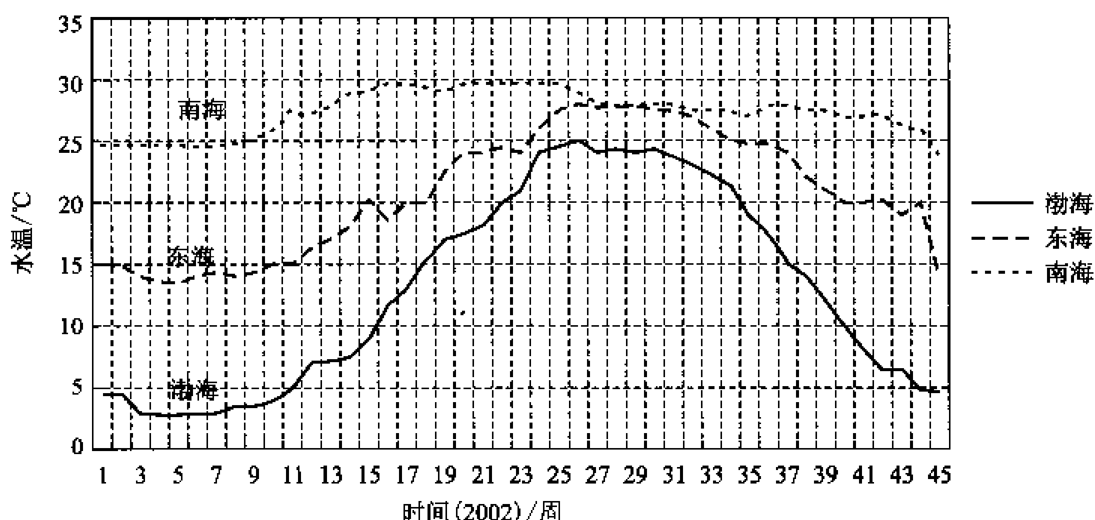


图 14-13　点过程对比示意图

14.2.2　线过程实例

前一节是将空间的线特征提取出来后，按时序组成一个过程，本节则运用 MaXplorer，利用时序的空间线组成一个二维图，然后从中提取时间线特征，进而分析空间线特征过程。

海洋 GIS 平台 MaXplorer 提供的长时间序列遥感反演数据特征自动提取与分析工具。可替代大量人工处理工作，利用遥感的长时间序列数据完成海洋时空过程分析。

1. *温锋提取方法介绍*

这里采用的温锋提取方法，是在海面上选定近似垂直黑潮走向的线段，然后自动从数据库中提取每一时期的该线段上的物理值，以物理值对应的颜色表现在坐标系上。坐标系的横坐标表示时间，纵坐标表示线段长度，颜色表示物理值的大小，这样便完成了长时间序列遥感数据的显示，从而掌握该条线段上的物理值随着时间推移的变化趋势。对此，拟称此方法为"线过程方法"。图 14-14 是所选取断面的示意图。

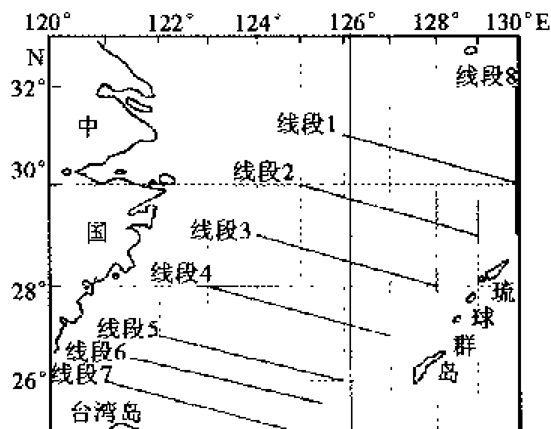


图 14-14　选取断面示意图

2. *数据来源*

选取的实验数据为 2003 年的 MODIS 水星 SST 数据，空间分辨率为 4 km，时间分辨率为 8 d。全年数据共为 46 幅。在东海黑潮流域选择了如图 14-14 所示的 8 条线段，分别为：线段 1：126°E，31°N—130°E，30°N；线段 2：125°E，30°N—129°E，29°N；线段 3：124°E，29°N—128°E，28°N；线段 4：123°E，28°N—127°E，27°N；线段 5：122°E，27°N—126°E，26°N；线段 6：121°30′E，26°30′N—125°30′E，25°30′N；线段 7：121°E，26°N—125°E，25°N；

线段 8:130°E,32°N—130°E,29°N。具体位置如图 14-14 所示。由于台湾岛东北部黑潮温锋变化比较大,所以线段 6 为加密线段,是为了更好获得该区域温锋的形态。

3. 数据与过程图的说明

由于所利用的 MODIS SST 数据所表现的是海洋表层水温度,所以本文的黑潮温锋是基于黑潮表层水的温度而提取的。

选择了 7 条平行的大致东西走向的线段和 1 条吐噶喇海峡经向线段(如图 14-14)作为黑潮温锋季节性变迁的试验对象,利用这 8 条线段上温锋的季节性变迁来反映整个黑潮温锋的季节性变迁的规律。线过程图上对应时间如图 14-15 所示。一年 12 个月共分成了 88 个单位,大约每 7 个单位为一个月。每个月份的位置在每幅图上都进行了标识。每幅过程图右面的色阶表示了相应的温度值。过程图的下面 MaXplorer 软件自动显示了线段的起始点和终止点的经纬度坐标。在每幅过程图中都可以勾画出温锋的近似位置。其中,红色曲线表示黑潮温锋的位置,黑色曲线表示陆架锋的近似位置。过程图的顶部表示线段的西北侧,底部表示线段的东南侧。吐噶喇经向线段过程图的顶部表示北侧,底部表示南侧。

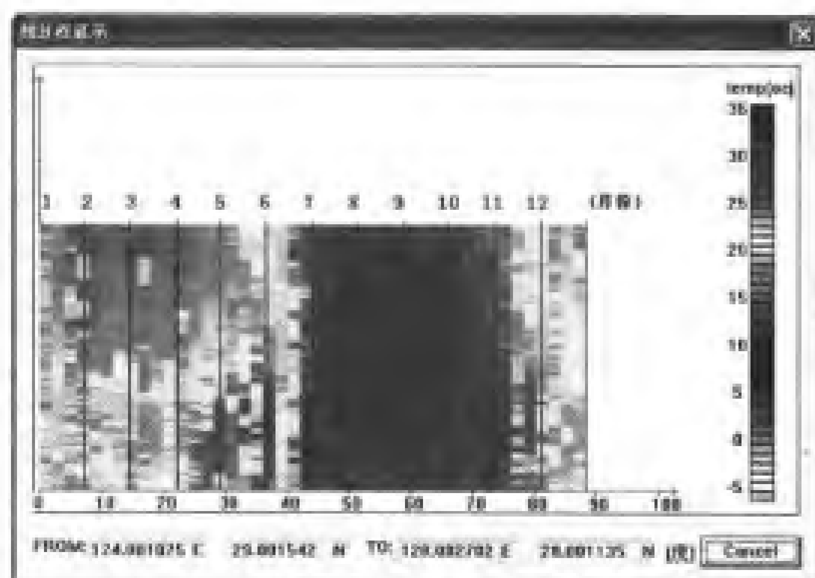


图 14-15 线过程数据所对应的时间示意图

4. 线段所经过栅格点集的获取方法

线过程中的一项关键技术是用什么方法在栅格数据中获取足够的有效点来代表直线段,它是能否获得理想的可视化效果的关键。也是矢栅转换的重要方法,算法思路是用线段所经过的栅格行或列的中点坐标来确定列号或行号,由此来确定代表矢量线的栅格。具体步骤如下:

(1)首先利用线段两端点坐标(x_1, y_1),(x_2, y_2)确定斜率 k;

(2)如果 $|k|$ 大于 1,则利用所求得的线段在每行的中点坐标确定所经过的列号;

(3)反之则利用所求得的线段在每列的中点坐标确定所经过的行号。

这种方法的优点是算法简单,易于实施。缺点是获取的点数有限,不能把矢量线

所经过的所有栅格都求出。如图 14-16 所示,按照这种方法求出线段的栅格为(3,2),(4,3),(4,4),(5,5),(5,6),(6,7),(7,8)。所求点数只与线段经过多少行或者多少列有关,因为每一行上线段中点只能在一个栅格上,所以线段经过多少行就能确定多少个点。图上虚线所示的直角边与斜边经过的行数相同,所以他们所能确定的栅格数相同。这是该方法的一个不合理之处,合理的方法应该确定的栅格数与线段的长度成正比,线段越长栅格越多。此方法获取栅格进行可视化,效果不理想。因此,在此基础上本节提出了一种新的方法。

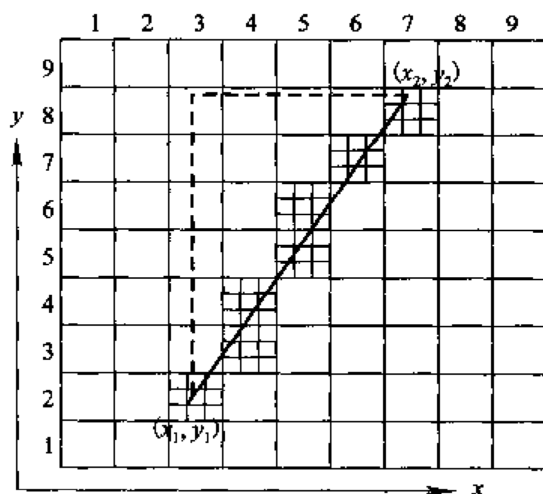


图 14-16　直线段上点集获取方法一

这种新方法可以把线段所经过的所有栅格都能全部提取。完全可以满足可视化的需求,具体方法如图 14-17。

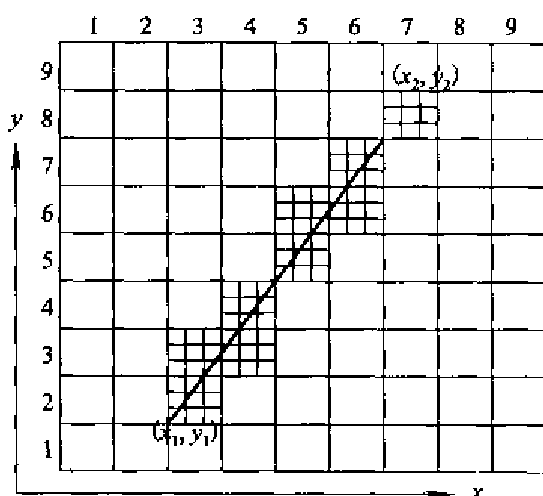


图 14-17　直线段上点集获取方法二

由于实际应用中所利用的遥感影像栅格尺寸很小,甚至用肉眼难以区分,所以把线段两个端点在所落的栅格内位移,肉眼是看不出线段的变化的,对最终的结果的影响也微乎其微,甚至对于应用不会有任何影响。具体步骤如下:

第一步,我们把两个端点(x_1,y_1),(x_2,y_2)都平移到所落栅格的左下角端点;

第二步,求得线段的斜率$k=\dfrac{y_2-y_1}{x_2-x_1}$;

第三步,如果栅格的边长为 d,依次求点 $x_1+d, x_1+2d, x_1+3d \cdots x_1+nd$($n$ 为线段所占列数)的 y 轴坐标值 $y_i=kd+y_{i-1}$,C++语言中 ceil()为向上取整函数,floor()为向下取整函数,与线段相交的栅格的行号获得方法是 $r_i=\text{floor}\left(\dfrac{x_i}{d}\right)+1$,列号 $l_i=\text{floor}\left(\dfrac{y_i}{d}\right)+1$(此处没有用 ceil()函数的原因是如果考虑到交点刚好是在栅格交点处的情况)。依次用这两个函数求得一整数 $m_i=\text{ceil}(y_i-\text{floor}(y_{i-1}))$,$m_i$ 即为该列上所要获得的栅格数目。

以图为例,假设栅格边长为 1,两端点坐标(x_1,y_1),(x_2,y_2)分别为(2,1),(6,7),计算斜率 k 值为 1.5,第二点纵坐标为 1.5×1+1=2.5,ceil(2.5-1)的值为 2,那么在第三列便取两个栅格,分别为(3,2)和(3,3)。继续下一列计算纵坐标值,行列号,所占栅格数。这样循环计算,最后便可以获得所有该线段所经过的栅格,如图所示为:(3,2),(3,3),(4,3),(4,4),(5,5),(5,6),(6,6),(6,7),(7,8),程序实现过程流程图如图 14-18。

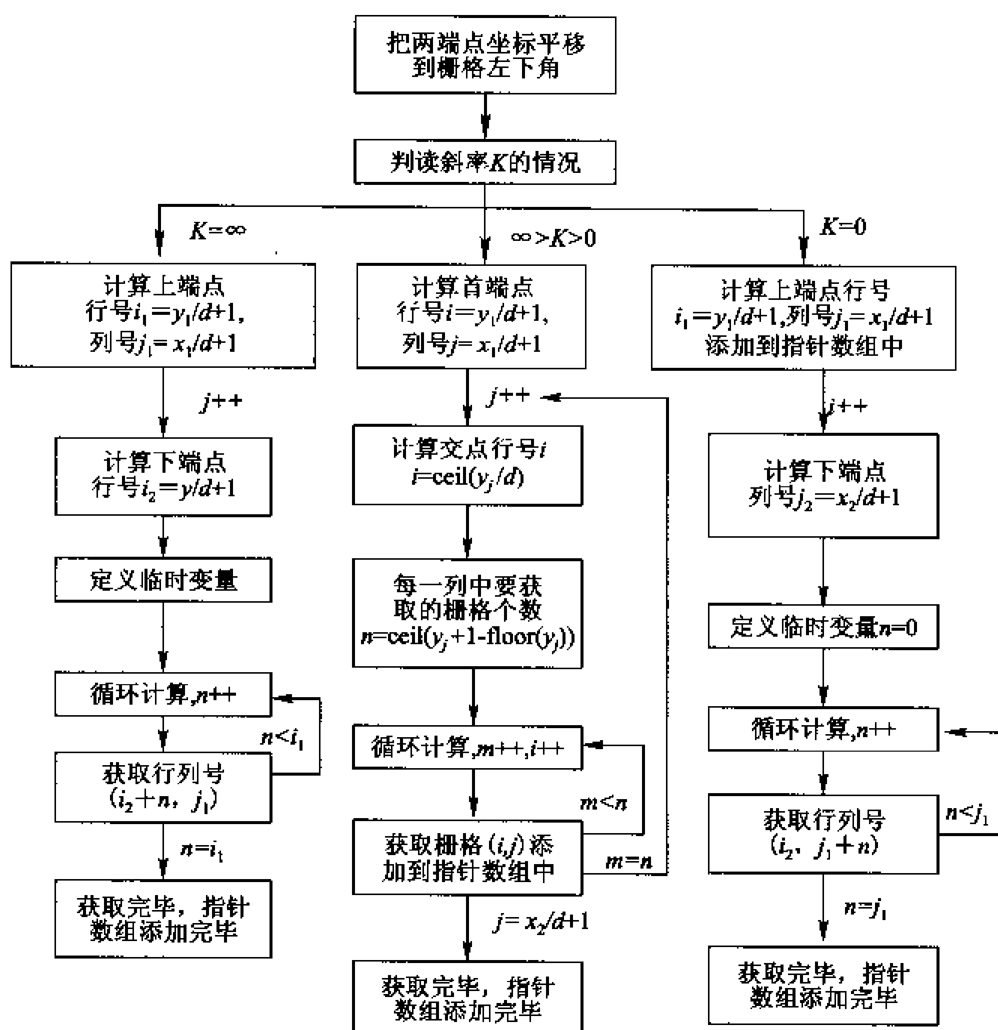


图 14-18　线状目标栅格获取算法流程图

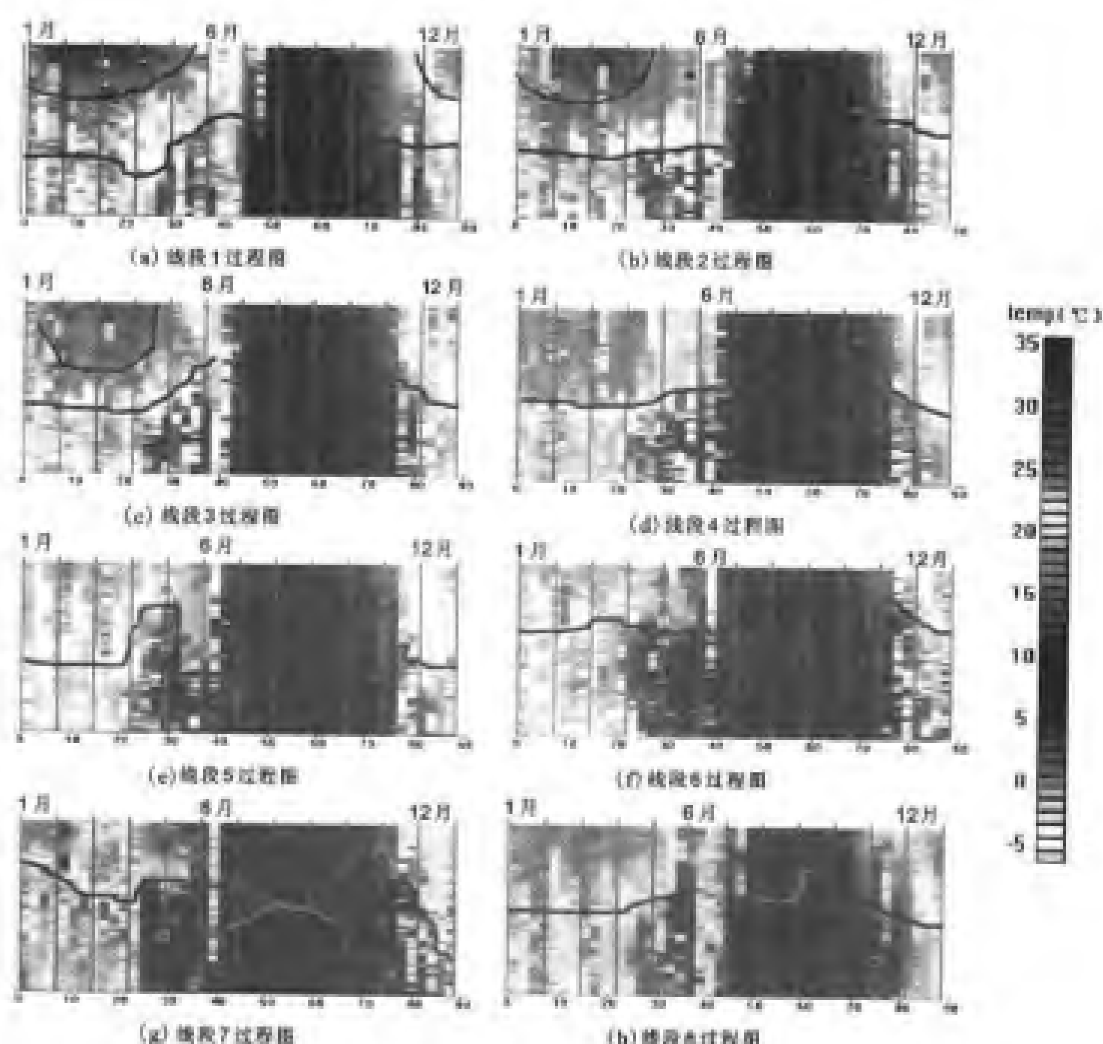
这种方法的优点是能够把所有线段经过的栅格全部获取，并且由于任何曲线是许多小线段构成的，所以这种方法同样适用于其他由线段构成的复杂图形。缺点是算法比较复杂，由于涉及微小的平移，应用于小分辨率栅格影像可能导致一定的误差。

5. 季节性变迁分析

1)线段 1 过程图(图 14-19(a))

可以看出，冬春时节靠近过程图顶端大约 1/4 处有一个明显的锋面，这个锋面并不是黑潮锋，而是黑潮锋西侧的北部陆架锋。图上可见，该锋面冬季逐渐向黑潮方向靠近，到了春天又逐渐向陆地方向退缩，5 月中旬该陆架锋基本消失。

黑潮温度锋在 1 月到 3 月下旬以前保持在图上大约 1/3 偏上位置处，波动很小。3 月下旬到 5 月初黑潮锋有一个明显的下凹，最低点在图上下部 1/4 位置附近，之后逐渐向上运动，到了 7 月份表层温锋基本消失。夏季整个线段上的海水温度比较均匀，大部分时间保持在 28℃左右，少数几天水温比较高，超过 30℃。到了 10 月初温度锋又隐约可见，线段上水温随着时间的推移逐渐下降，但是温锋的位置基本保持在图上 1/2 位置附近，略微有上下浮动，但是浮动不大。秋末冬初时，可见陆架锋重新出现，并且强度逐渐加强。



(a) 线段1过程图　(b) 线段2过程图
(c) 线段3过程图　(d) 线段4过程图
(e) 线段5过程图　(f) 线段6过程图
(g) 线段7过程图　(h) 线段8过程图

图 14－19　东海黑潮线过程图

2)线段 2 的过程图(图 14－19(b))

在 5 月份以前也可以明显看到图上端有明显的温锋存在，根据位置可以判断该温度锋仍然为东海北部陆架锋，它从 1 月份开始向下移动，3 月份最强，然后逐渐减弱，5 月份基本消失。

过程图上从 1 月到 7 月在 1/2 偏下位置有比较平缓的黑潮锋存在，该温度锋 2 月到 5 月有一个并不明显的下凹，6 月末线段上的海水温度明显升高，表层温度锋逐渐消失，与线段 1 过程图相比，温锋的消失大约提前了一幅数据的时间(8 天)。整个夏季线段上的温度都比较平均，7 月中旬到 9 月上旬水温基本保持在 30℃以上，其他时间水温在 28℃左右。10 月中旬开始黑潮温锋又重新出现，位置在图上 1/2 处，有缓慢下降的趋势，直到年末。该图上的黑潮温度锋位置相对比较稳定，上下浮动很小。所以该线段上的黑潮锋的位置受季节的变化影响不是很大。

3)线段 3 的过程图(图 14－19(c))

仍然可见陆架锋的存在，根据线段 3 的位置判断，该陆架锋为东海中部陆架锋，由图可以看出中部陆架锋的强度明显要弱于北部陆架锋。该锋出现于 12 月末，3 月最为接近

黑潮锋，然后逐渐后退，4 月中旬基本消失。

线段 3 上的黑潮温度锋位置也比较稳定，4 月份之前都比较平缓，基本保持在图上 1/2 稍稍偏下的位置，4 月份开始缓慢抬升，到了 6 月中旬达到最高点，达到图上部 1/3 位置附近。6 月下旬进入夏季，表层温锋基本消失。与线段 2 的过程图相比，黑潮温锋的消失时间同样提前了大约 8 天左右。夏季的水温分为 3 个阶段，7 月下旬之前水温保持在 28℃附近，7 月下旬到 9 月中旬以前的水温比较高，大部分时间在 30℃以上，但是在同一线段上分布比较均匀，说明横向温度变化小。从 9 月中旬到 10 月中旬水温又回到 28℃左右。10 月中旬以后水温缓缓下降，黑潮表层温度锋重新出现。图上观测到的温锋大约出现在图上 1/2 位置稍稍偏上。走势为缓慢下降，到 12 月末下降到 1/2 偏下的位置。

4)线段 4 过程图(图 14－19(d))

与前 3 幅过程图相比最大的区别是冬春时节并没有出现陆架锋而且冷水团的温度明显偏高。黑潮温锋比较明显，且进入夏季之前走势平缓，没有大的波动。温锋的位置基本是保持在图上 1/2 位置处，只是从 4 月份开始到 6 月中旬有一个非常缓慢的抬升，但是抬升的势头非常微弱。6 月中旬开始表层温锋已经基本消失。进入夏季，该线段上的黑潮水温以及不同水温的时段分布情况与线段 3 过程图上的情况基本一致。10 月末黑潮温锋在图上 1/2 位置处重新出现，呈下降趋势，直到 12 月末，下降到图下部 1/3 位置处。

5)线段 5 过程图(图 14－19(e))

线段 5 的位置在台湾岛东北部海域，从过程图上可以看出，这里的黑潮的季节性变化比较复杂。1 月中旬到 4 月初在图的顶部出现了一个微弱的锋面，位置上看，该锋面应该是台湾暖流与沿岸的冷水团形成的。黑潮锋在 4 月份以前比较平稳，保持在图上 1/2 偏下的位置。到了 4 月份，水温明显升高，温锋位置有一个急剧的抬升，4 月初到 5 月初温锋位置都在图上上部 1/4 位置附近。5 月中旬开始温锋位置又迅速回落到图上下部 1/4 位置附近，接近 6 月中旬，表层温锋基本消失，整个夏季水温比较稳定，大部分时间水温保持在 28℃左右，30℃以上的高温时间主要集中在 7 月末至 8 月初这 20 天左右时间里。10 月 20 号开始可以观察到温度的下降，温锋也重新出现在图上 1/2位置附近，同样呈下降趋势，11 月中旬开始，温锋位置基本稳定，大约保持在图上下部 1/3 位置附近。

6)线段 6 过程图(图 14－19(f))

线段 6 为一条加密线段，目的是为了更好的获得该区域温锋的具体位置和形态。在图上可以看出，温锋位置从 1 月到 6 月基本上变化不大，略有东移。基本保持在上部 1/3 位置附近。六月中旬以后黑潮表层温锋基本消失。整个夏季水温比较稳定，大部分时间水温保持在 28℃左右，30℃以上的高温时间主要集中在 7 月末～9 月初这段时间里。而且高温区域并不连续，中间有一个跳跃。上部的高温可能是台湾暖流造成的，而下部为黑潮水。到 11 月温锋又重新出现在图的上部 1/6 位置附近，并且快速东移，到 12 月末位置已经达到图的中部附近。

7)线段 7 过程图(图 14－19(g))

在 8 条线段中，线段 7 的纬度最低，最靠近台湾岛。从过程图(图 14－19－G)整体来

看，水温保持在28℃以上的时间明显要长于前面的5条线段，而最大的不同点是线段6上在夏季7、8、9月出现了温锋。温锋出现在图上1/2位置附近。温锋西侧水温均匀保持在28℃左右，而温锋以东黑潮水温基本都在30℃左右。而6月末和9月末到10月中旬这些时间里线段上的水温比较均匀，没有明显的温锋存在。1月初，在过程图上可以看到温锋出现在上部1/4位置处，呈缓慢下移的趋势，到4月初，下降到了最低点，位置在图上中间偏下。4月10号左右温锋又突然抬升到了上部1/3位置，在这个位置上一直保持到5月20号左右温锋消失为止。6月上旬有一个时间段温度普遍偏低，在图上表现很明显，在其他线段过程图上也同样出现了这种情况，这个低温的出现应该是受当时天气的影响造成的，而与黑潮锋面位置没有关系。11月10号左右黑潮锋的大致位置出现在了顶端1/4偏上的位置，12月初开始急剧下降，12月末已经下降到了底部1/3的位置附近。

8)线段8吐噶喇海峡流域温锋过程图(图14－19(h))

选取这条线段的主要目的就是提取黑潮向东流回太平洋时，在吐噶喇海峡流域的温锋位置。从过程图上可以看出，从一月初到5月中旬之前黑潮锋的位置比较稳定，在图上中间偏上一点的位置附近，浮动很小。5月中旬之后整条线段上的水温普遍升高，温锋基本消失。夏季水温多为28℃左右，高温区域超过30℃。7月末到9月中旬有夏季温锋出现，位置在过程图的中部偏上，与冬春季的位置基本一致。10月中旬秋季温锋出现在过程图的中间，呈向下运动趋势，12月末位置大约下降了线段长度的1/8。

6. 温峰的绘制

每个季节内黑潮温锋的位置并非保持在同一位置不变。为了绘制黑潮锋每个季节的大致位置并且与类似的研究相比较，以2月、5月、8月和11月分别代表春、夏、秋、冬四个季节来绘制温锋的平面图。所得到的各个季节温锋的位置如表格14－1所示。

表14－1　每个季节各线段上黑潮温锋的位置表格

	春季(5月)	夏季(8月)	秋季(11月)	冬季(2月)
线段1	128°00′E 30°30′N		128°24′E 30°24′N	128°40′E 30°20′N
线段2	127°15′E 29°26′N		126°45′E 29°34′N	127°30′E 29°22′N
线段3	126°00′E 28°30′N		125°50′E 28°33′N	126°12′E 28°27′N
线段4	125°00′E 27°30′N		125°00′E 27°30′N	125°15′E 27°26′N
线段5	124°00′E 26°30′N		124°30′E 26°26′N	124°30′E 26°26′N
线段6	122°58′E 26°08′N	123°54′E 25°24′N	122°10′E 26°20′N	122°50′E 26°10′N
线段7	122°24′E 25°40′N	123°00′E 25°30′N	121°24′E 25°50′N	122°30′E 25°38′N
线段8	130°00′E 30°45′N	130°00′E 30°48′N	130°00′E 30°12′N	130°00′E 30°48′N

根据表格 14－1 可以绘制出 2003 年表层黑潮温锋在每个季节的大概位置，如图 14－20 所示。图上 c 线条表示冬季温锋位置，a 线条表示春季温锋位置，b 线条表示秋季温锋位置。由图上可见，黑潮进入东海以后，温锋位置在台湾岛东北部海域明显的入侵陆架，其中秋季最为活跃。此处有一个先是气旋，后是反气旋的弯曲。27°N—30°N 之间温锋位置相对稳定，没有剧烈变化，其中冬季位置相对偏东，秋季偏西，春季位于二者之间。30°N 附近又是黑潮比较活跃的区域，也是秋冬季温锋相差较大的一个区域，在此黑潮转向东流。

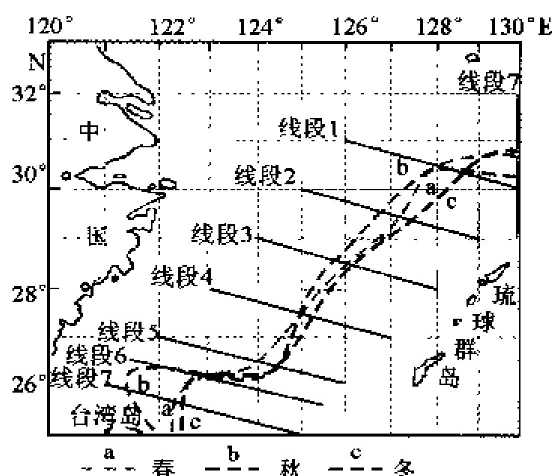


图 14－20　2003 年黑潮温锋的季节位置

总体上，黑潮表层温锋的位置比较稳定，除了台湾东北部海域和 30°N 附近海域两个黑潮相对活跃区域外，其他位置季节性变化不大，基本位于 200 m 等深线附近的陆坡区。

7. 线过程方法小结

利用海洋地理信息系统软件 MaXplorer 对 2003 年的 MODIS 水星 SST 数据进行 8 条线段的线过程显示，并对线过程图进行处理分析，从中得到东海黑潮表层温锋位置的季节性变化规律。显示结果表明了线过程方法的可行性与实用性。

由结果可知东海黑潮表层温锋的位置季节性变化不大，夏季东海表层水温比较均匀，基本保持在 28℃ 以上，温锋位置不明显。其他三个季节温锋的位置由于受海底地形的影响基本保持在 200 m 等深线附近的陆坡区。冬季的温锋位置相对稍稍偏东。秋季的温锋路线比较曲折，在台湾岛东北部有一个明显的先是气旋，后是反气旋的弯曲。如果根据表层温锋来判断黑潮的流幅大小，春、秋、冬三个季节中秋季黑潮流幅最大，冬季最小，春季位于二者之间。

14.2.3　面过程实例

面过程的基本方法已经在前面介绍过了，本节以 1997—1998 年厄尔尼诺现象为例对面过程在实际中的应用进行介绍，选择了能代表厄尔尼诺各个变化过程的 5 帧画面为例进行说明。

1. 厄尔尼诺的成因及特征

首先，我们必须了解厄尔尼诺现象的成因及其特征。我们可以将地球看成一个海洋和大气的系统，其中洋流和风分别是海洋和大气的主要运动形式，他们的变化来自于海水和空气对太阳能的吸收和再分配。赤道区域，信风基本是从东向西吹的，从而引起海水在西部的堆积，形成西高东低的形势，大洋西部海水堆积，东部则不断从深层涌升冷水补偿。

在这个系统中，南美洲上空形成一个高压，空气寒冷而干燥，印度尼西亚上空则存在一个低压，空气潮湿，多云多雨，这样的高压和低压配置维持着信风的正常方向，北半球冬季，南美洲的高压降低，印度尼西亚的低压上升，信风必然减弱，在太平洋东岸较冷的

新鲜的富营养化的深层水的涌升也变弱，海面轻微上升，海水温度也上升。

当上述平衡达到了极点，信风在压力场的控制下严重减弱甚至反向，太平洋西部堆积的海水得以释放其巨大的能量，激发出向东传播的赤道 Kelvin 波，并且使西岸的海面高度降低，当这种波动传到东岸时，赤道 Kelvin 波分成南北向两个分支，形成沿岸 Kelvin 波，也可能反射形成 Rossby 波，增强了当地的海面高度和海水温度，易于降低气压，从而进一步减弱信风，并且一般持续几个月到一年的时间才能恢复正常状态，这种气候异常产生巨大的能量，而且经常是年际变化的。

厄尔尼诺的最大特征就是秘鲁沿岸在几个月内形成的巨大暖池，暖池的空间分布形态类似于冰山，即表面只占一小部分，所以在表层观测到相对比较轻微的温度异常就意味着在相当大区域内都存在着海水温度和海面高度的异常，与平均状况和变化范围相比较来说，这种异常的幅度相当可观。

2. *厄尔尼诺现象面过程反演*

由于厄尔尼诺现象是个长期的变化过程，而且是由于赤道太平洋海平面高度的变化引起的，所以利用 TOPEX/POSEIDON 卫星高度计数据反演较大时间分辨率的时空面过程便可以生动的演示厄尔尼诺的发生、发展、和衰退的过程，从面可以有效地对其进行监测和预报。

利用的数据是 TOPEX/POSEIDON 卫星数据，其测高精度可以达到 2.7 cm。数据覆盖范围的地理坐标为 30°S—30°N，120°E—60°W，完全覆盖了整个赤道太平洋海域，可以观测厄尔尼诺变化的全过程。选择的 5 帧数据的时间分别是 1997 年 5 月 5—14 日、7 月 4—13 日、9 月 12—21 日、12 月 1—10 日、1998 年 1 月 30—2 月 8 日。

面过程图(图 14 - 21)中显示的是针对 1997—1998 年的整个厄尔尼诺现象的面过程演变过程，从整个过程中可以清楚的看到厄尔尼诺的年变化规律，即海水两次在南美洲沿岸进行堆积的现象。下面对每一帧画面进行详细说明：

(1)1997 年厄尔尼诺的海面异常现象始于 4 月份，第一帧画面(图 14 - 21(a))体现的是 5 月的赤道海面高度异常，赤道平均海面约为 7 cm，太平洋东岸的海面高度异常是 16～20 cm。

(2)第二帧画面(图 14 - 21(b))体现的是 7 月份的海面高度异常，在此之前厄尔尼诺不断发展，7 月海面高度正异常极值到达南美洲沿岸，在此区域中最大海面高度异常达到 30 cm 左右。5 月时西太平洋的正异常分布比较分散，到了 7 月以后西太平洋已经形成大片的负异常区域，赤道上的正异常东向移动，海水在南美洲沿岸堆积现象明显，15°N 的正异常同时向西移动。

(3)第三帧画面(图 14 - 21c)显示的是 9 月份的海面异常，此时厄尔尼诺处于调整状态，在太平洋中部偏东仍然存在较大的异常，最大异常也达到 30 cm，但是南美洲沿岸则回落到 10 cm，赤道以北负异常的强度却越来越大，15°N 的正异常严重消耗，只留下少许痕迹。

(4)第四帧画面(图 14 - 21d)显示的是 12 月份厄尔尼诺以完全发展状态再次到达南美洲，异常值超过35 cm，同时，西太平洋海面下降幅度更大，厄尔尼诺现象发展到了最高

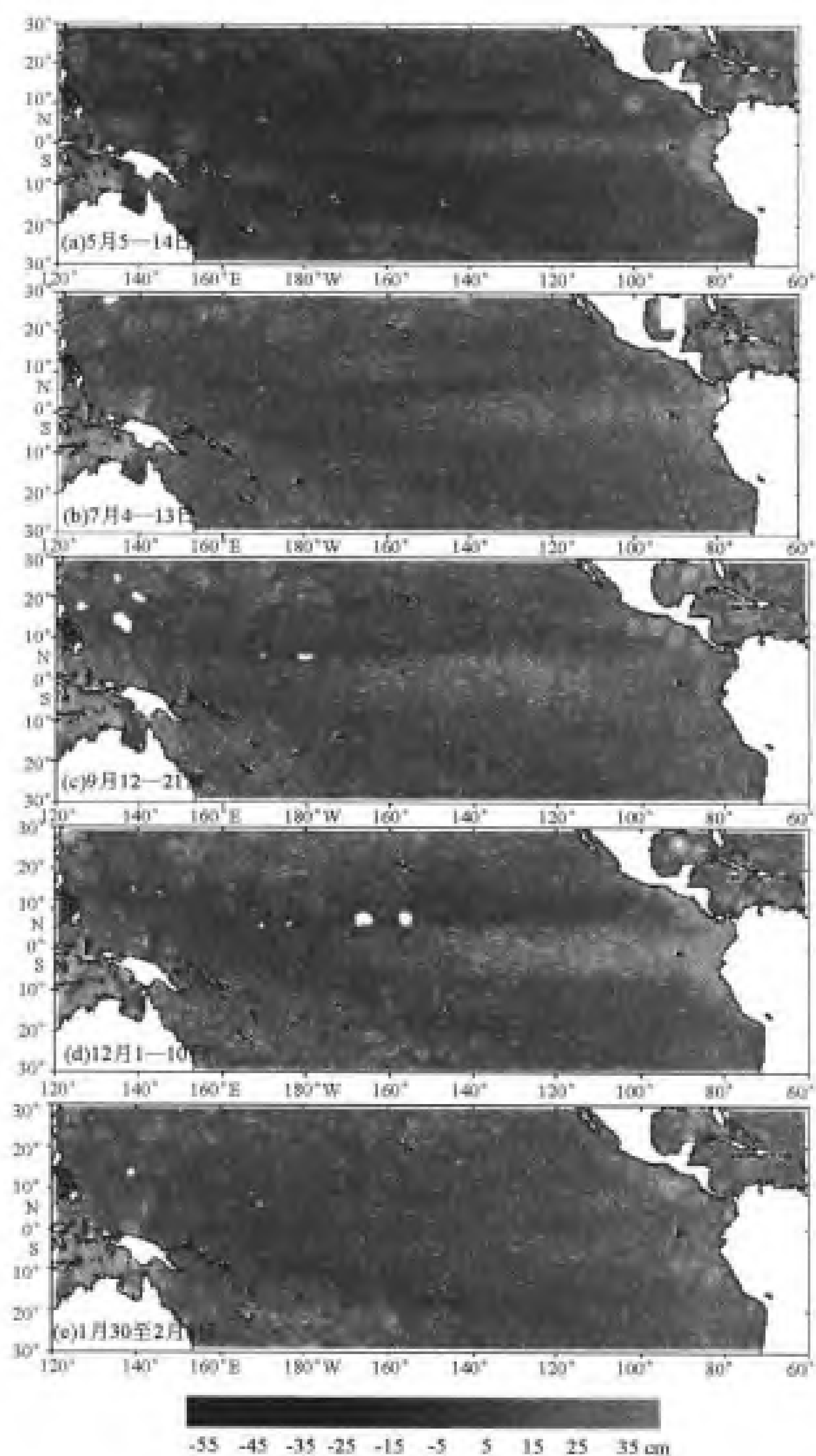


图 14-21 厄尔尼诺面过程反演图

(a)1997 年 5 月 5—14 日 (b)1997 年 7 月 4—13 日 (c)1997 年 9 月 12—21 日
(d)1997 年 12 月 1—10 日 (e)1998 年 1 月 30 至 2 月 8 日

峰，西太平洋与东太平洋的海面高度差值达到最大——大于 75 cm。15°N 以北区域形成强度较弱的正异常，而且范围较广。

(5)第五帧画面(图 14 - 21e)显示的是 1998 年 2 月海面高度异常开始回落，海流在大陆沿岸反射成南北两个沿岸 Kelvin 波。画面中可以发现，形成高度异常的东太平洋海水从赤道区域的沿岸海域迅速向 5°S 和 5°N 转移，然后在从这两个纬度向西传播。

3. 小结

本章主要通过实例对各种时空过程可视化方法进行了具体的介绍，结果充分表明了各种时空过程可视化方法对于海洋水文标量数据的可行性与实用性。这些方法可作为海洋科研工作的辅助工具，时空过程可视化方法可给海洋科研工作带来很大的便利。

参考文献

1 崔伟宏，史文中，李小娟. 2004. 基于特征的时空数据模型研究及在土地利用变化动态监测中的应用. 测绘学报，33(2)：138 - 145

2 林广发，冯学智，王雷. 2002. 以事件为核心的面向对象时空数据模型. 测绘学报，31(1)：71 - 76

3 陆锋，李小娟，周成虎. 2001. 基于特征的时空数据模型：研究进展与问题探讨. 中国图像图形学报，6(9)：930 - 935

4 Bartlett D, Devoy R. etc. 1997. A dynamically segmented linear data model of the coast. Marine Geodesy, 20: 137 - 151

5 Dawn J Wright. 2000. Marine and Coastal Geographical Information System. Taylor&Francis

6 Pavlopoulos, A. and B. Theodoulidis. Review of Spatio-Temporal Date Models. TimeLab Technical Report TR - 98 - 3, 1998

7 Torill Hamre. 1995. An object-oriented conceptual model for measured and derived data varying in 3D space and time. Advances in GIS Research, Proceedings of the 6th International Symposium on Spatial Data Handing, Taylor & Francis, 2: 868 - 881

8 Torill Hamre, Khalid Azim Mughal. 1997. A 4D Marine Data Model: Design and Application in Ace Monitoring. Marine Geodesy, 20: 121 - 136

第15章　涡旋提取与相似性计算

15.1　涡旋提取概况

15.1.1　背　景

海洋涡旋是一个非常重要的海洋现象，如我国近海常见的各种中小尺度的冷暖涡旋，南海的次海盆尺度涡，湾流和黑潮主流轴附近的中尺度涡，以及大洋中的中尺度涡等。涡旋的观测通常通过测量海流和海水的温度、盐度等要素来进行，如管秉贤(1983，1986)曾对东海及其附近海域的涡旋进行评述，郭炳火等(1990，1995，1997)也曾多次在东海和黑潮区域进行的锋面涡旋调查研究，胡敦欣等(1979)对济州岛南部等海域的涡旋进行研究；苏育嵩等(1996)通过研究水团的消长、变化以及它的空间分布规律来间接地反映海洋涡旋的消长和属性特征。同时，涡旋在各海域的数值模拟中也得到了广泛的体现，如美国海军研究实验室(NRL)的 Hogan. 等(1999)对黑潮进行了深层环流数值模拟，李荣凤等(1995)用太平洋区域模式探讨中国南海暖流和涡旋形成机制，袁耀初等(2000)用模式计算得到黑潮涡的寿命，黄浩升等(1996)建立的二维正压数值模式来模拟黑潮流域的上层环流特征和涡旋现象；李徽翡等(2001)利用 POM 扩展模式模拟夏季东中国海的环流，发现长江口东北面存在两个中尺度的涡旋。近年来，随着卫星遥感资料的出现，利用有关遥感数据进行海洋涡旋的研究正在迅速增加，王东晓等(2001，2004)利用卫星高度计数据计算涡旋的地转流场；贺志刚等(2001)利用卫星跟踪浮标和同期的海面高度计数据进行南海涡旋结构的研究；谢强等(2001)针对南海的几种风应力资料进行对比分析，得出遥感资料在研究中小尺度涡旋的实用性的结论。虽然利用 SST、水色资料分析海洋现象的研究已经有很多，如潘德炉(1996，2000)长期从事的海洋水色的遥感反演研究；齐义泉、施平等(1998，1999)利用卫星遥感资料进行的南海海浪、海表温度以及海面动力高度场和地转流场的研究；但是真正用来提取海洋涡旋表面结构的算法仍然少见。

15.1.2　海洋涡旋特征信息提取方法分析

随着多源、大面积海洋遥感数据的成倍增加，如何快速自动地进行海洋涡旋的空间信息提取和应用成为有效地使用遥感数据的关键。在谢强(2001)关于南海几种海面风应力资料的分析研究中表明遥感资料对于南海中小尺度涡旋研究的价值，此外，以往海洋涡旋的研究有很多也是基于不同的遥感数据源(贺志刚，王东晓等　2001；齐义泉，施

平等 1998,1999),总结前人对于海洋涡旋的研究可知,海洋涡旋的出现具有一定规律并且在海面高度、海水物理特性、空间形态几个方面存在着相应的表象特征信息。如中尺度涡由于地转作用,往往会引起海面高度变化,并在高度计资料上有所体现;而近海发生的涡旋,会带动泥沙按一定规律运移;海洋冷涡形状会呈现固定的圆饼状,暖涡则随着强度不同呈现出从圆形到带状、丝状、舌状不等的形状特征(郭炳火,万邦君,汤毓祥 1995)。诸多规律为识别和提取海洋涡旋现象提供了前提条件。但是由于海洋环境的瞬息万变,涡旋会在局部范围发生多种多样的变化,使得海洋涡旋定量提取方法受到算法和应用上的考验,同样为海洋涡旋自动提取和预报的研究带来难题。

目前研究海洋涡旋有多种方法。采用水团分析的间接研究方法,虽然可以反映某时刻海洋涡旋的真实环境和分布状况,但由于受观测资料的限制,只能是针对局部区域进行特定时刻的定量分析,对海洋涡旋的模型分析存在一定的欠缺;数值模型的研究方法虽然可以从物理模型上定量地模拟较大范围的涡旋生消状况,但在很多时候缺少地面观测资料的有效验证;所提到的海洋遥感数据的研究,目前多是对海洋环境数据的反演方法研究,只是涉及到部分的海洋涡旋信息。因此,本章在多年遥感信息提取及人工智能方法研究的基础上,结合海洋涡旋空间信息研究目前存在的难题,提出采用人工智能领域中比较新的基于案例推理(CBR)的方法,尝试进行海洋涡旋的空间信息定量分析和提取。基于案例推理的方法解决问题的核心是使用大量的案例数据,组建相应地海洋涡旋案例库,在案例相似性的基础上进行海洋涡旋的信息提取和预报分析[史忠植,1998;Kolodner,1993]。这样的前提恰好与目前海量的海洋遥感数据及其反演资料相吻合,同时不用涉及非常复杂的海洋涡旋物理模型。这一方法是海洋涡旋快速定量提取与预报的一种新尝试,也是系统地研究海洋涡旋的一种比较理想的方法。同时,面向海洋现象组织的典型历史案例库,也将为进一步认识海洋涡旋提供丰富的实例资料。

15.2 基于虚拟力场提取算法

15.2.1 引 言

已如所知,海洋涡旋的空间形态是其主要的表观特征之一,不同类型和不同机理的海洋涡旋的空间形态呈现出各自的规律。如海洋冷涡形状会呈现固定的圆饼状,暖涡则随着强度不同呈现出从圆形到带状、丝状、舌状不等的形状特征等。诸多规律为海洋涡旋的定量遥感信息提取提供了前提条件。但由于海洋环境的瞬息万变,涡旋会在局部范围发生多种多样的变化。如我国陆架坡折处的黑潮涡旋受锋面切变力的影响已经演变为锋面涡旋且呈现折叠状态,锋面涡的中心为狭长带状,暖流多演变为暖丝结构。如何根据遥感影像快速自动地提取涡旋的空间形态对认识海洋涡旋具有较高的科学与实际意义。

随着遥感技术的发展,大面积、多时相的海洋遥感数据快速增长,为海洋涡旋提供了前所未有的观测资料。如何快速自动地从大量遥感数据中进行海洋涡旋信息提取和应

用成为迫切需要解决的问题，目前利用海洋遥感图像进行涡旋解译主要依靠"专家目视判读"方法。就此有人进行过海洋涡旋信息的遥感自动识别研究，如：Peckinpaugh 等(1994)提出直接利用 Hough 变换圆检测算子进行涡边缘检测的方法。姬光荣(2002)利用改进的 hough 椭圆检测方法进行海洋涡旋边缘的自动检测。这两种方法都需要一定的前提条件，前者假设海洋中尺度涡旋的边缘是一个近似规则的圆形，后者则把这种假设扩展为近似的椭圆。虽然可以从一定程度上探测到涡旋区，但缺乏局部细节。并且由于涡旋形态的复杂性，其边缘往往不是规则的圆或椭圆，因此该方法比较适合对处于成熟期、形态特征比较简单的中尺度涡旋可以做到自动检测。而 Nichol(1987)采用由计算机搜索图像中相同灰度值所连成的区域，并由这些区域结构之间所生成的关系图，进行提取类似涡结构的尝试性研究。但由于海洋遥感图像成像过程的复杂性，基于图像等灰度值连通区域难以提取涡的详细形态特征。鉴于此，本书认为海洋涡旋在其发生、发展和消衰的过程中，由于受各种因素的影响，空间形态会极为复杂，并不是某一种方法就能完全实现的，需要在现有提取方法基础上融合智能化方法以达到最终提取海洋涡旋空间形态的目的。根据视觉形状感知原理可知，影像中海洋涡旋显著形状的识别是一个由细到粗的形状感知过程，因此本节提出采用改进的"基于力场的显著形状感知"方法，在边缘信息提取的基础上，进行海洋涡旋显著形状的智能提取，并试图以此来辅助揭示海洋涡旋内在的形成机制。

15.2.2 空间结构提取

1. *方法概述*

基于虚拟力场的显著形状提取方法基本出发点：认为形状的视觉感知是局部与全局相互作用的一个迭代过程，其最终目标是凸现显著形状(刘继敏 2000)。为了模拟这一形状的视觉感知过程，在边缘提取基础上，采用各种力定量化这种局部和全局的相互作用过程。首先进行边缘跟踪，获取边缘曲线；其次采用常曲率线段进行曲线的拟合；第三，计算曲线自身和曲线之间存在的多种相互作用力；第四，局部作用与全局优化相结合，选取相互作用的力，并经过逐次迭代，次要的曲线将逐渐消失，相互关联的主要曲线将被组装起来，最终凸现出显著形状。

该方法不同于目前显著形状识别的诸多方法，如采用主动轮廓或者变形模板的方法，Hough 变化或广义 Hough 变换方法，数学形态学方法等，这些方法都是主动的空间形状探测方法，或多或少的有关于形状的先验知识，采用从粗到细的识别策略。而从认知科学的角度，也有多种方法，如局部兴奋和全局抑制的震荡神经网络感知凸现方法，贝叶斯网络实现感知组织算法(Sudeep Sarkar 1993)，和突出轮廓的能量检测方法等(Yang 1996)。这些方法出发点都是模拟人的认知过程，由于所考虑的相互作用比较简单，最终能识别的图形相对比较简单，不能很好地体现实际情况。

如前所述，目前用于海洋涡旋信息提取的方法都或多或少的存在着一些局限，本节希望能从新的视角去探求新的解决方法。考虑到海洋涡旋空间形态是多种力相互作用的结果，而基于虚拟力场的信息提取方法恰恰能通过类比来虚拟这些力的作用，因此可以在边缘提取基础上对海洋涡旋进行虚拟力的综合作用以便于智能识别其空间形态。

此外，相对于遥感背景场，海洋涡旋的空间形态多具有较大的规律性，多表现为平行结构或套合结构，很少出现交叉现象，这些特点从一定程度上简化了基于力场的信息提取算法，从而确保了这种方法在海洋涡旋识别上的实用性。

2. *基于虚拟力场的海洋涡旋显著形状提取算法*

“基于虚拟力场的显著形状提取”算法主要目的是给出一套定量模拟人类形状感知模型的计算框架，对其中涉及的力场采用形状感知过程中一些启发式规则的定量描述来实现。由于这些启发式规则在定量化时涉及众多的参数，因此在针对具体目标时需要结合目标的特征进行参数的取舍，从而达到算法的实用化。

由上述可知，海洋涡旋的感知特征决定了在海洋涡旋显著结构提取中比较重要的力，一是考察曲线端点之间的方向一致性；二是考察小曲线在大曲线影响下的抗干扰能力；三是考察曲线自身的稳定性，其中前二者更为重要。具体的算法详述如下。

1)海洋涡旋特征提取及预处理

由于对海洋涡旋的识别是基于多源遥感数据进行的，因此在基于力场的显著形状提取之前需要进行初步的特征提取和预处理工作。对于原始遥感影像而言，其信息量非常丰富，首先需要检测出我们感兴趣的海洋涡旋特征信息。常用的有边缘检测、图像分割等方法，本研究中主要采用了边缘检测方法。由于检测算子的不同，又有很多具体的方法，常见的有 Sobel、Prewitt、Robert、拉普拉斯、Canny 算子。由于 Canny 算子是通过寻找局部梯度最大像元的方法寻找边界，它的梯度计算采用的是高斯函数的倒数作为滤波器，同时该方法所提出的三个最佳边缘检测准则，使得该方法相对于其他方法对噪声的抗干扰能力较强，对真实的弱边界的识别能力也相对较强(Canny 1986)。本研究在初步的特征提取时采用的 Canny 算子进行边缘检测。

经特征提取之后，原始影像转化为隐含有海洋涡旋边界信息的二值影像，还需将二值影像矢量化，分离出具体的特征曲线，获取具体的曲线坐标数据。本研究中采用一种简便实用的边缘追踪算法，该算法首先检测出二值图像中的所有结点，然后从每一个结点出发按照一定的原则进行邻接像元的搜索，定义了八个搜索方向，但水平、垂直与对角方向的优先级别不同，并在一定的边界限度条件下进行线段的追踪，如：边界点的处理，回头检索的限制，对搜索方向不能重复的设定等，最终获取到图像中每条边缘线的坐标串。

2)边缘特征曲线的参数化

特征曲线的形状表示是通过曲线的参数化实现的，而曲线的参数化恰恰是实现力场识别与提取的前提。通常情况下，根据复杂程度把特征曲线分为三个层次：常曲率线段、基本曲线和复合曲线。其中常曲率线段指直线和圆等简单形状；基本曲线是常曲率线段的集合，复合曲线是基本曲线的集合。

在此基础上，对各种曲线进行参数化定量表达，首先对常曲率线段进行参数化，并在常曲率线段参数化基础上定量表达基本曲线：

$$(p_i, p_{i+1}, k_i, \theta_i^+, \theta_i^-) \tag{15-1}$$

式中，p_i，p_{i+1} 为线段两个端点的位置坐标，k_i 表示线段的曲率常数，θ_i^+，θ_i^- 分别表示线段两端点处的切线与水平方向的夹角，i 表示该常曲率线段在基本曲线中的序号。

考虑到海洋涡旋空间形态的规律性，把复合曲线拓宽为交叉结构，套合结构、和平行结构三大类，根据类别的不同进行不同的参数化定量表达。对交叉结构记录基本曲线个数，交叉点的坐标、交点处切线交角；套合结构是基于复合曲线中每个基本曲线必包含一个或多个圆弧(或圆)，记录基本曲线个数，套合圆心，各基本曲线的套合半径；平行结构记录其中各基本曲线的个数，切线角度差，平行线间的距离差。

在具体实现时，除了按照上述方案设置相应字段外，还需考虑离散曲线拟合方法，本研究采用可降阶的多项式拟合方法，对图像中每一条基本曲线进行点数的判断，如果点数小于等于4时，采用二阶多项式拟合。大于4时，基于最小二乘法原理，采用可降阶三阶多项式拟合，从而保证每一条曲线离散化拟合成一条参数记录，简化了参数化过程。

3)特征曲线的显著度计算

由于显著形状提取就是从图像中提取显著度比较大的形状集合，因此必须对形状的显著程度进行定量化表达，则需要涉及到显著程度计算。此外，基于力场的显著形状提取方法中，显著度还有两个非常重要的作用，第一，曲线在力场作用力的影响下，会逐渐趋于稳定，显著度是衡量这种稳定状态的一个重要指标，满足指标要求后，就可以停止继续作用，输出结果；第二，作为曲线的"质量"必然参与到作用力的计算中，对作用力的最终效果起到重要的作用。因此显著度的良好评价方法，在一定程度上会影响到最后计算的收敛性和有效性。从以上两个作用来看，显著度作为"质量"，具有一定的惯性，因此符合牛顿第一定律；显著度与虚拟的作用力之间相互影响，同时具有牛顿第二定律的关系。

显著度的计算原理：首先，曲线/线段的长度不仅在视觉上是非常明显的，在物理上也代表了很大的水体质量，同时也往往伴随着较强作用力的持久效果，因此，曲线的总长度是一个非常重要的指标。为了描述曲线/线段的长度，可以采用分段的方法。其次，曲线的弯曲程度对于涡流来说也是非常重要的，从宏观的弯曲形状上，可以表征水质点涡度效应的强弱，而涡度变化正是大尺度流体运动关键因素之一。第三，对于一个涡旋，从视觉效果上来看，它的特殊形状是非常值得关注的，例如对称性、封闭性或半封闭性、某种形状出现的频率等，这里主要考虑准封闭性，出现频率两个要素。准封闭性代表了在物理上准连续性的情况，而出现频率则可能意味着相同的作用力对于不同的水体不断地发挥作用。

基于以上原理，本研究对于显著度的计算是在特征曲线的参数化基础上进行的，考虑了曲线总长度的影响，组成曲线的线段之间转角的影响，曲率变化对显著度的影响，以及曲线特殊效应的影响。具体的计算公式为：

$$S(L)=\omega_0 F(L)+\omega_1\sum_{i=1}^{n} l_i-\omega_2\sum_{i=1}^{n}|\theta_{i+1}-\theta_i|-\omega_3\sum_{i=1}^{n}|k_{i+1}-k_i| \tag{15-2}$$

$F(L)$是反映曲线特殊效应的度量，包括准封闭性和某特征曲线出现频数两个要素；ω_1，ω_2，ω_3 是预先设定的权重值，$\sum_{i=1}^{n} l_i$ 是曲线长度的总和，l_i 是基本曲线 L 中第 i 条常曲率线段的长度；$\sum_{i=1}^{n}(|\theta_{i+1}-\theta_i|)$表示基本曲线之间转角的总和；$\sum_{i=1}^{n}(|k_{i+1}-k_i|)$表示基本曲线曲率变化的总和，在边界点，如果基本曲线 L 是开曲线，则 $k_{n+1}=k_n$，$\theta_{n+1}=\theta_i^+$；如果 L 是闭曲线，则 $k_{n+1}=k_1$，$\theta_{n+1}=\theta_1^+$。

4)特征曲线力场计算方法

曲线参数化和显著度的定量化方法确定之后，需要进行最关键的一步：在形状感知原理的基础上，通过各种力场的计算来定量化模拟感知的过程。从原理上，需要有多种力来定量刻画，如用吸引力来定量地模拟两条曲线之间相互吸引并最终可以连成一条曲线的情况；融化力是计算两条曲线中有一条被另外一条消融掉的情况；平行力是模拟近乎平行的两条曲线之间趋于一致的力；聚合力是模拟多条曲线聚集在一起的感知力；黏附力是计算一条曲线最终可以与另外一条曲线黏附在一起的情况；退化力则是定量模拟一条曲线在没有外界交换的情况下在人大脑中消失的情况（刘继敏 2000）。上述这些力的作用效果对于参与作用的曲线之间都是同时具有，并且作用力大小相等，方向相反，因此这可以视为符合牛顿第三定律的原则。

但是结合到海洋涡旋的形状感知过程，由于我们在定义复杂曲线的参数化时，已经考虑到了平行结构和交叉结构的情况，在特征曲线的显著度计算中，考虑了曲线的准连续性，因此对平行力和聚合力的计算暂时可以忽略掉。为了进一步简化算法，我们认为对融化力的计算已经包含了部分退化作用的效果，对吸引力计算也包含了黏附作用的效果，因此去掉了黏附力和退化力的计算。因此，海洋涡旋力场显著形状提取方法中仅仅考虑了吸引力和融化力作用。具体的计算方法如下：

(1)吸引力的计算：吸引力的构想来源于惯性定律，即邻近的水体曲线之间具有继承性，吸引力的计算方法则来源于万有引力。在前面已经构建了曲线质量——“显著度”的概念，并给出了计算公式。吸引力的大小主要取决于曲线距离的远近和质量的大小，但是对于涡旋来说，往往是圆弧状的套合结构，既有切向的吸引力，也有纵向的吸引力，假设纵向的吸引力在进行曲线特征化的过程中已经得到体现，则吸引力（或称切向吸引力）的计算如图 15－1 所示，曲线 L_1 对 L_2 的吸引力计算公式：

$$F_a(L_1, L_2) = [\omega_1 S(L_1) + \omega_2 S(L_2)] \cdot e^{-d/\omega_3} \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \tag{15-3}$$

式中，$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 是预先设定的常数，$S(L_1), S(L_2)$ 分别为曲线 L_1, L_2 的显著程度，d 为 L_1, L_2 相距最近的两个端点的距离，θ_1, θ_2 分别为 L_1, L_2 距离最近的两个端点的连线与各自的延长线的夹角。根据涡旋计算实例，并考虑到海洋数据分析的经验，取得相关参数，程序实现时算法如下：

a. 进行曲线长度排序，设定前 1/3 的曲线为计算曲线；(1/3 这个参数可调)。

b. 确定长度最大的曲线，作为开始曲线。

c. 设置搜索半径：初始条件为自身长度的 1/4，对应角度为延长线方向的±45°。

如果为空，改换搜索范围为：半径为自身长度的 1/6，对应角度为延长线的±90°。

如果再次为空，继续改换搜索范围为：半径为自身长度的 1/9，对应角度为±180°。

d. 搜索到其他曲线端点后，依次计算吸引力；同时将吸引力赋值给对方曲线。

e. 根据曲线长度排序，只计算长度排序的前 1/3（可调）的曲线，其他长度较短的曲线不计算吸引力；遍历前 1/3（可调）的曲线后，停止计算。

f. 如果是第一次循环，直接跳到步骤 c；否则，对曲线进行处理：比较所受的所有吸引力的大小，选取吸引力最大的进行连线，刷新曲线记录。

g. 对所有有关的曲线进行必要的连线处理。

（2）融化力的计算：融化力的基本思想是去除随机因素对涡流造成的影响。涡旋在形成过程中，必然会受到各种随机作用力，或者是主要作用力发生了一些随机的变化，这些细小的变化如果在涡旋的形状上有所体现，则对于涡旋显著形状的整体把握是非常不利的。判断融化力的基本方法是抓住主要特征曲线，根据主要特征曲线判断次要特征曲线。融化力的主要效果是将那些有交叉倾向的次要特征曲线融化掉，从而进一步消除干扰，提取主要特征。融化力的衰减方法定义为指数衰减，计算如图 15－2 所示，曲线 L1 对 L2 的融化力计算见式（15－4）。

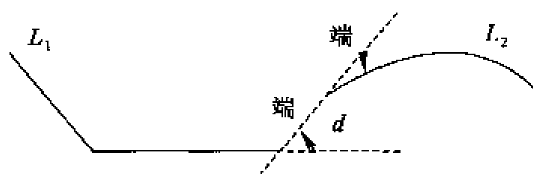


图 15－1 吸引力作用的图示

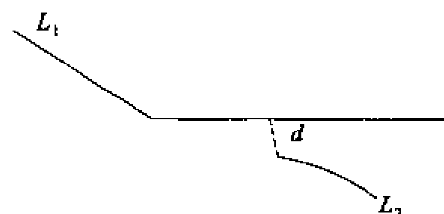


图 15－2 融化力作用的图示

$$F_m(L_1, L_2) = S(L_1) \cdot e^{-(S(L_2)/\omega_1 + d/\omega_2)} \qquad (15-4)$$

式中，ω_1，ω_2 是预先设定的常数，$S(L_1)$，$S(L_2)$分别为曲线 L_1，L_2 的显著程度，d 为 L_2 的两个端点到 L_1 的最短距离。程序实现时算法如下：

a. 进行曲线长度排序，设定前 2/3 曲线为计算曲线；（2/3 这个参数可调）

b. 确定长度最大的曲线，作为开始曲线，依长度次序进行力的计算；

c. 设置搜索半径：初始条件为开始曲线自身长度的 1/5，对应角度为开始曲线延长线方向的±90°进行搜索，该参数设置并不固定，可以通过计算结果反复修正；

d. 分别计算计算曲线与搜索到的各个曲线之间融化力；并标记融化力作用的各个曲线（包括收融化力）；

e. 如果是第一次循环，则继续步骤 f，否则，继续步骤 g；

f. 无任何融化力记录的曲线，并且长度在后 1/6 内的小曲线，删除；（1/6 这个参数可调）

g. 只考虑长度是后 1/6 的曲线，比较某曲线所受的各个融化力与吸引力的大小：融化力最大且超过最大吸引力的 2 倍时，则删除该小曲线；吸引力最大且超过最大融化力的 2 倍时，进行吸引力的作用（见吸引力的 f）。其他情况，记录为特殊情况，尽量避免出现特殊情况，力的参数调节也以出现特殊情况最少为原则；

h. 特殊情况的出现概率超过 1/3（可调）时，必须重新选择力的计算公式中的参数或者同时考虑对所涉及的可调参数进行调整；

i. 特殊情况少于 1/3（可调）时，特殊情况的处理方法为：融化力最大时，则删除该小曲线；吸引力最大时，则转吸引力的 f。

5）特征曲线全局优化

经过上面的各种力的计算后，需要根据各种力的作用进行全局的优化，从而突现出显著形状。一般情况下，较大的力与图像中的主要信息相连。对整幅影像而言，并非直接把局部作用力作用于特征曲线，而是计算出每条曲线所受的所有作用力，让他们进行

相互竞争，从全局角度出发选取一些较大的力作用于相应的曲线，从而得到最终的优化结果，提取出显著形状。本研究中，由于进行力场计算的时候进行了一定程度的简化，仅仅考虑了两种局部作用力，并且在各自的计算中已经从全局优化角度进行了处理，故具体计算时没有再进行单独的全局优化的处理，只是根据局部作用力的大小进行不同的作用力实施（见前面力场计算算法）。

15.3 涡旋提取实例

15.3.1 实例研究

上述算法结合了虚拟力场的原理，对于符合动力学原理的涡旋形状，效果更好。同时由于它可控性较大，并主要依托图像识别技术，对于并不太标准的涡旋结构，也可以取得较好的效果。以下针对不同种类的海洋遥感图像和各种复杂的涡状结构，进行了实例研究，如图 15－3 所示。图中的"原始影像"一列给出了四个海洋涡旋案例分别代表了几

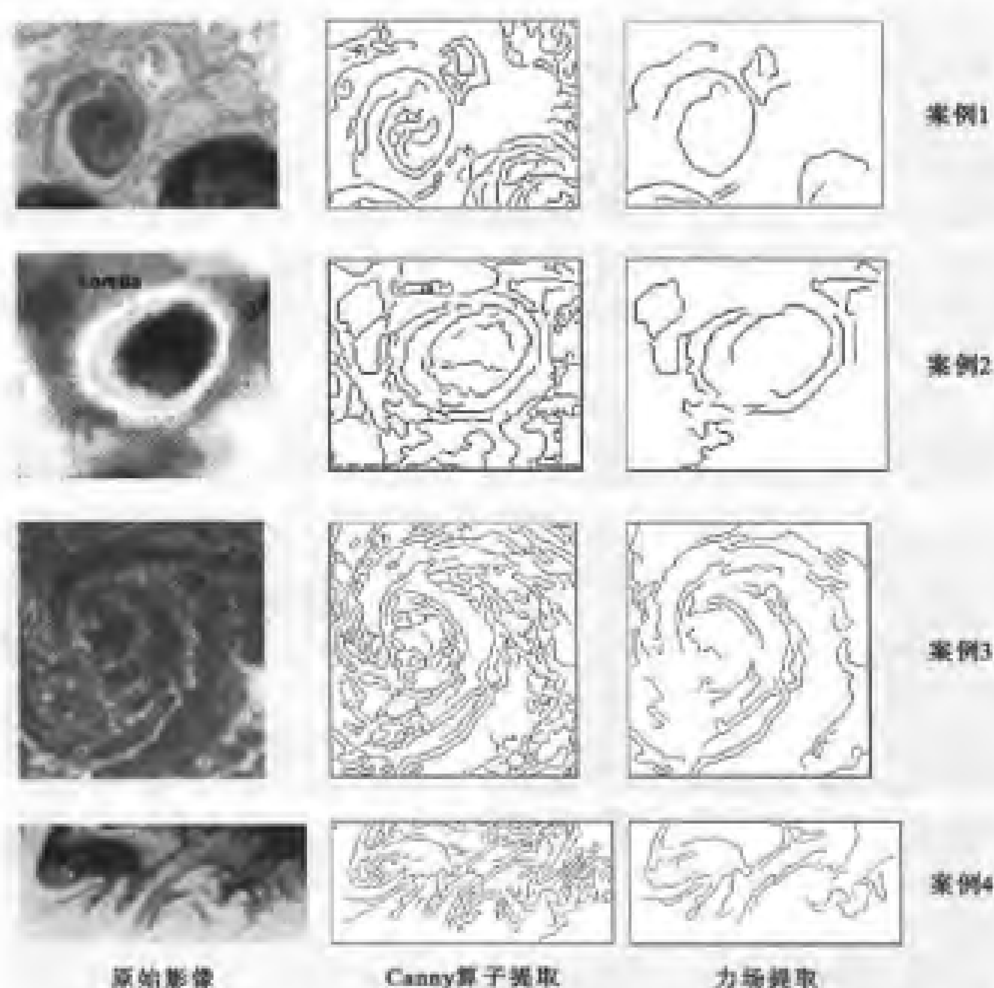


图 15－3 基于力场的海洋涡旋案例主要形态特征信息提取试验研究

类海洋遥感数据，在这些影像上都可以比较清晰地发现不同的涡状结构，其中案例 1 是北大西洋墨西哥湾流区域的一个暖涡，该案例的原始影像是水色卫星的假彩色合成影像；案例 2 是北太平洋中靠近夏威夷附近名为“Loretta”涡旋 1999 年 9 月 3—4 日的 GOES 温度图像；案例 3 是 1984 年 10 月 6 日在东地中海区域拍摄的航片；案例 4 是 1985 年 11 月 2 日在里海区域拍摄航片。这四个案例有着明显的形态差异，前两种有明显的环状，案例 3 的环状受海流的影响明显的拉长，并延伸为丝状；案例 4 受地形的作用比较强烈，呈现出的不是规则的环状，而是破碎的波状。

针对这四种涡旋案例，采用上文算法进行具体的识别和提取试验，结果见图 15－3 最右边的一列；图 15－3 中间一列是利用 canny 算子进行的边缘检测的初步结果。从结果看，该方法对不同类型涡旋的提取效果基本一致；每一类涡旋其主要的形态特征已经被提取出来，但在局部细节上有一些主要形态的缺失。同 canny 算子检测出来的初始边界相比，明显地减少了与目标无关的边界信息，起到了自动概括的作用。

由于该方法需经验参数较多，且运算过程中迭代次数、搜索参数、显著度参数的设置对输出结果都有影响。在试验过程中，总结经验，认为循环次数为 5 的时候基本上可以满足形状提取的需求，而初始的参与作用力计算的曲线控制 100 条之内对算法的稳定性、计算效果和运算时间来讲都是高效的。

15.3.2 显著度对比研究

由算法可知，该算法的输出结果是基于对曲线的显著度的度量，为了进一步分析不同显著度条件下，输出结果的差异，对同一景影像进行不同显著度条件下的结果输出，结果见图 15－4。图中依次为 1985 年 10 月 6 日加利福尼亚湾海洋涡旋的原始影像；利用 canny 算子提取的边缘；显著度分别为 600，800，1 000，1 200 时海洋涡旋的主要形态提取图。从结果看，显著度能很好地控制输出的最终结果，显著度越大，输出的结果越概括，从视觉角度看，在阈值范围之内主要形态信息基本得到了保留，只是其详细程度不同而已，但超过一定的阈值时，主要形态特征信息出现明显缺失。本例中 1 200 是基本形态特征最小的阈值。一般情况下，显著度在 1 000 左右时输出效果比较理想。

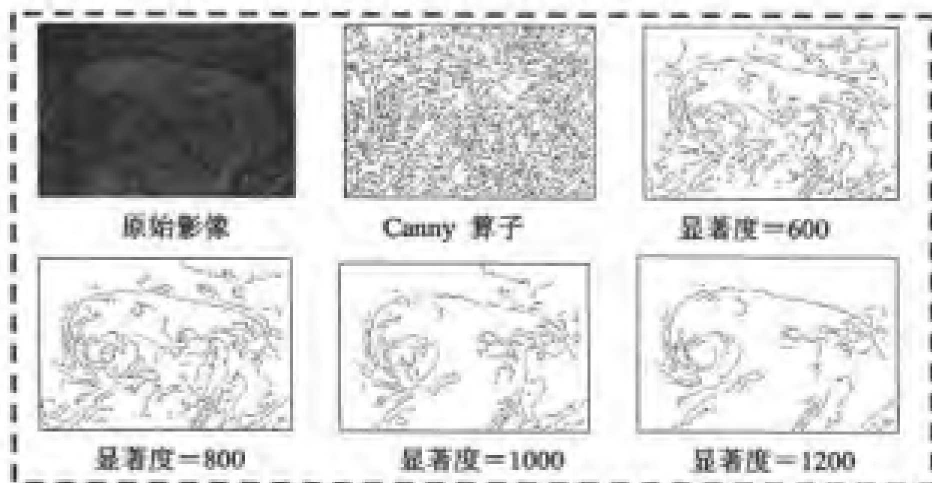


图 15－4　不同显著度条件下海洋涡旋主要形态特征的提取状况对比图

15.3.3 结　语

针对海洋涡旋主要形态特征的遥感信息识别提取问题，对“基于力场的显著形状提取”的算法进行了较大地简化和改进。最后给出了几类海洋涡旋的实例研究和同一类海洋涡旋的参数敏感性分析。从实例研究结果看，该方法对主要形态特征的信息提取是可行的，所自动提取的主要形态特征边界基本满足视觉需求，能够定量地描述涡旋的主要形态信息。

由于该方法是在边缘检测基础上实现的，很大程度上受边缘检测算法的影响，虽然本研究所采用的 canny 算子最大限度地保留了初始的边缘信息，但对于成像不好的原始影像存在着信息的缺失等问题。随着实例研究的深入和经验的积累，该算法无疑会成为一种非常有效的涡旋形状的自动检测手段，并将为海洋涡旋历史案例库的建设带来极大的方便。

15.4 涡旋案例推理提取方法

15.4.1 基于案例推理的海洋涡旋提取系统框架

遵循案例推理的一般流程，海洋涡旋提取系统的基本框架应当包括案例的表达、案例库建立，相似性推理和修正等几个步骤。但由于海洋涡旋受海流、地形与相关水文环境的影响呈现出特有的时空变化规律，因此利用案例推理的方法进行提取时需要考虑涡旋案例之间的相互关系及其本身的区域性规律。基于上述考虑，案例推理系统的基本框架如下：首先在底层多源地理信息系统(GIS)数据库的基础上研究海洋涡旋的变化规律，并据此进行涡旋历史案例库的建立和结构重组，其次实现涡旋案例的相似性论证，并结合给定的新的基础新数据进行涡旋的信息提取和动态预报。

15.4.2 海洋涡旋案例的表达和组织

定量表达和组织具有多变空间形态特征的涡旋案例是建立海洋涡旋案例库的关键。目前案例的表达模型可归纳为四种：分别是传统的属性表达模型(Burke，Maccarthy，Petrovic　2000)、结构化表达模型(Asad Khattak，Adib Kanafani　1996)、层次表达模型(Coenen F P，Beattie B　1998)和基于格网(Tesseral)空间的表达方法(杜云艳，周成虎，邵全琴等　2002)，这些方法有各自的应用领域和优缺点。针对地理现象案例的表达，主要是针对以栅格形式表达的地理现象；而与该研究比较相似的 Jones 等(1994)对大气涡旋案例的表达与组织研究，则采用大气涡旋的外接矩形初步定义空间信息，内部细节采用位矢量编码标示，这种方法对内部细节的表达受尺度的限制较大。

具体到海洋涡旋案例，由于其相对复杂多变的时空特性，对案例表达模型提出了较高的要求，需要扩充空间形态的表达。但由于海洋涡旋边界的确定非常复杂，本研究中采用其主要的外围轮廓线进行简化，然后对经过边界化的海洋涡旋案例采取 GIS 线特征

的空间描述办法实现空间形态的表达。具体表达模型如下。

该表达模型分为两大部分：案例属性信息表达和空间表达。属性表达模型是对属性项进行适当的定量编码和归一化，用属性特征向量表示；空间表达模型采用地理信息系统中(GIS)地理特征的表达方法，在此具体把海洋涡旋抽像为线特征。图 15－5 是案例表达的流程，表达模型见公式(15－5)。由图 15－5 可知对属性和空间信息分别进行选择或提取，并按照具体的表达模型进行数学表达。

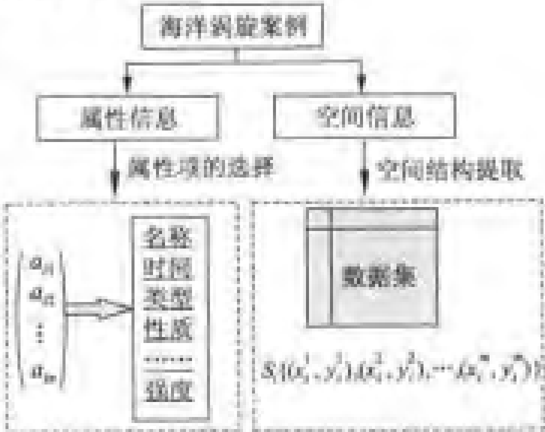


图 15－5　海洋涡旋案例表达模型的示意图

$$Case_i=(A_i,S_i),i=1,2,\cdots k;\quad(15-5)$$

$$\text{其中},A_i=\begin{pmatrix}a_{i1}\\a_{i2}\\\vdots\\a_{in}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\text{Name}_i\\\text{Date}_i\\\text{Type}_i\\ID_i\\\text{Temperatuire}_i\\\\\vdots\end{pmatrix},$$

$$a_{ij}\in R,S_i=[(x_i^1,y_i^1),(x_i^2,y_i^2),\cdots,(x^m{}_i,y^m{}_i)]\tag{15-5}$$

式中，R 代表实数集合，i 为案例的序号(x_i^1,y_i^1)为描述涡旋形态的曲线中间点的地理坐标。

n 为属性项的序号，m 为海洋涡旋线特征的组成点数，k 为案例的总数。

15.4.3　海洋涡旋历史案例库建立

海洋涡旋历史案例库建立包括数据预处理、案例表达及提取、案例存储三个步骤，图 15－6 给出了流程图。其中，数据预处理是对遥感影像数据、地图数据、遥感反演的要素场数据、出海调查数据等多源数据进行海洋涡旋的特征抽取，包括属性定量编码和海洋涡旋空间信息提取和数字化；第二步是用表达模型对经过预处理后的数据进行选择、组织、再编码和优化从而形成具体案例，这是案例确认的过程；最后把确认的所有海洋涡旋案例以统一格式存储在关系数据库中。

由于受数据影响，构建完整的历史案例库存在一定的难度，因此在建立历史案例库时，需要采用两种方法：第一，利用该区域同时相的历史遥感影像，进行涡旋信息提取，从而补充相应案例；第二，如果出现同期的影像没有或者受云的影像涡旋信息不清楚的情况，则需要选取相近区域的相同类型和相近时期的研究作为替补进行案例的建立。

15.4.4　海洋涡旋案例空间相似性

历史案例库建立之后，给定新的涡旋案例，如何在历史案例库中搜索与当前案例相似的历史案例，并评价其相似的程度成为海洋涡旋 CBR 空间信息提取的核心。因为海洋涡旋案例包含了属性和空间两大类信息特征，所以对历史涡旋案例库的相似性检索同样需要进

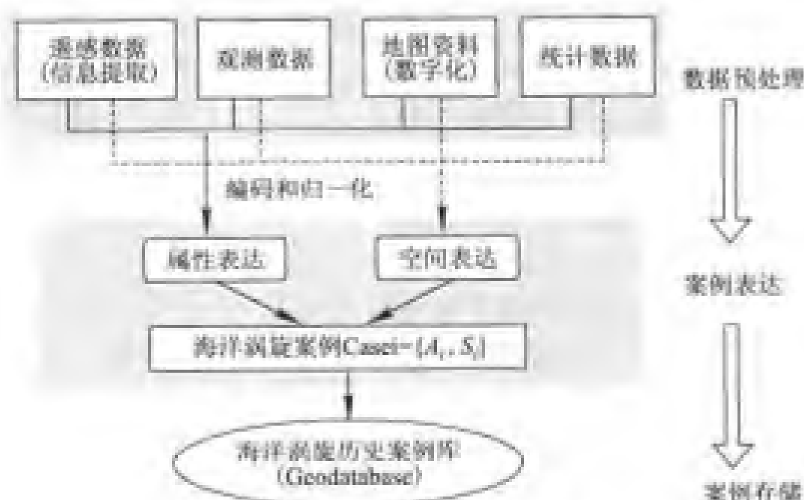


图 15－6　历史案例的构建流程

行基于属性域的相似性检索和涡旋空间形态的相似性计算。相似性推理如下所述：

1. 基于属性域的初始检索

主要任务是计算任意一个历史案例与当前案例在属性域的相似程度，并根据设定的阈值抽取与当前案例相似的历史案例集合。由于海洋涡旋案例属性表达采用的是多维属性向量，故将欧氏距离作为案例间的相似性系数见式(15－6)。

$$\text{Similarity}_{ij}=\sqrt{\sum_{k=1}^{n} w_k \times (x_{ki}-x_{kj})^2}\,,X_i=\begin{bmatrix}x_{1i}\\x_{2i}\\\vdots\\x_{ni}\end{bmatrix} \tag{15-6}$$

式中，X_i是对应于案例 i 的属性向量；w_k是对应于属性 k 的权重系数，主要是用于确定海洋涡旋的某个属性在整个属性空间中的重要程度。根据经验，给定一个阈值，由式(15－6)可知，属性域上与当前案例相似的案例必定落在一个超椭球体内。为了简化计算、提高检索的效率，采用过滤窗口，进行历史案例库的过滤，在该窗口之内的案例认为是满足相似性条件的历史案例，这种替代稍微扩大了相似性搜索的范围，但节省了检索的时间。

2. 空间相似性模型的提出

经过初步选取的属性域与当前案例相似的历史案例集合，需要在空间上进行进一步的相似性计算，从空间形态上给出历史涡旋案例的相似性序列。根据案例表达模型(式15－5)可知，海洋涡旋案例的空间形态对应于描述海洋涡旋主要轮廓的空间任意曲线或者折线段。因此，对海洋涡旋案例的空间相似性计算可以转化为空间中任意两条曲线之间的相似性计算。

目前和属性域相比，描述地理空间中对象之间相似性的研究很少，而且多集中于对单个面状对象几何形态的描述，如用矩形度、圆形度、中心矩、主轴和不变矩(Kenneth 2002)等，但对于线状对象还缺乏研究。本文给出的算法试图将发生在地理空间中线状特征的空间形态用一组特征向量(重心矢径序列)表达，然后比较不同曲线的特征向量来

确定它们之间的相似程度，我们把它称为“基于重心的矢径序列相似性算法”。

该算法首先计算出空间中任意一条曲线的重心坐标；其次，把线段等分成 k 段，求出重心到每一个 k 等分点的矢径向量 V；最后求出任意两条曲线的矢径向量的相关系数，用该相关系数定量表达空间中任意两条曲线的相似性，即任意两个涡旋案例的相似性程度。由于该方法具有位移、旋转和线性变换的不变特性，因而它是空间相似性计算的一种简化方法。下面给出图示和具体的算法。

给定空间中的任意一条曲线 L（如图 15－7），由 $\{s_1, s_2, \cdots, s_i, \cdots, s_n\}$ 共 $n-1$ 条线段组成。L 表示为 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\cdots, (x_n, y_n)\}$，令其重心为 (x^*, y^*)。假定线密度是（$=1$，则各线段的质量为 $S_1, S_2, \cdots, S_{n-1}$。对于其上的任意一段线段，其对应的质心位置是：$x_i^* = \frac{x_{i+1}+x_i}{2}$，$x_i^* = \frac{y_{i-1}+y_i}{2}$。因为 (x^*, y^*) 为整条曲线 L 的质心，故各线段的质心 (x_{i*}, y_{i*}) 的力矩合为 0。即满足公式（15－7）：

$$\sum_{i=1}^{n-1}(s_i \times \vec{v_i}) - 0 \tag{15-7}$$

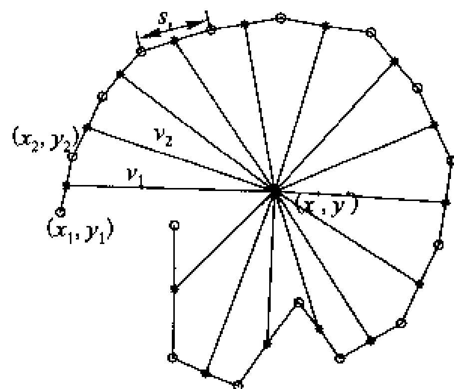


图 15－7　空产中任意曲线的重心计算示意图

式中，$\vec{v_i} = (x_i^* - x^*) + i \times (y_i^* - y^*)$，$i^2 = -1$，因此，重心坐标为

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}\sqrt{(x_{i+1}-x_i)^2+(y_{i+1}-y_i)^2}\times\frac{(x_{i+1}-x_i)}{2}}{\sum_{i=1}^{n-1}\sqrt{(x_{i+1}-x_i)^2+(y_{i+1}-y_i)^2}},$$

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}\sqrt{(x_{i+1}-x_i)^2+(y_{i+1}-y_i)^2}\times\frac{(y_{i+1}-y_i)}{2}}{\sum_{i=1}^{n-1}\sqrt{(x_{i+1}-x_i)^2+(y_{i+1}-y_i)^2}} \tag{15-8}$$

求出该曲线的重心坐标后，对该曲线进行 k 等分（$k \gg n$），曲线 L 可以重新表示为：$\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \cdots, (x_k, y_k)\}$，则由重心点向 k 个等分点连接而成的重心矢径向量序列 V 可以表示为

$$V = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x_1 - x^*) + i \cdot (y_1 - y^*) \\ (x_2 - x^*) + i \cdot (y_2 - y^*) \\ \vdots \\ (x_k - x^*) + i \cdot (y_k - y^*) \end{pmatrix} \tag{15-9}$$

针对空间中的任意两条曲线 L_1, L_2，可以获取各自的重心矢径序列向量 V_1、V_2，这两个向量之间的相关系数 r_{ij} 即为两条曲线之间的相似性系数，即

$$r_{ij} = \frac{\sum_{\alpha=1}^{k}(|v_{i\alpha}| - |\bar{V}_i|)(|v_{j\alpha}| - |V_j|)}{\sqrt{\sum_{\alpha=1}^{k}(|v_{i\alpha}| - |\bar{V}_i|)^2 \cdot \sum_{\alpha=1}^{k}(|v_{j\alpha}| - |\bar{V}_j|)^2}} \tag{15-10}$$

其中
$$|V_i| = \frac{\sum_{\alpha=1}^{k} |v_{j\alpha}|}{k-1} \tag{15-11}$$
$v_{i\alpha}$为矢径序列V_i中的第α个分量，$v_{j\alpha}$为矢径序列V_j中的第α个分量。

对于历史案例库中的任意案例，采用上述方法与当前的案例进行空间相似性的计算，相似性系数越大，说明空间形态上就越接近，一定程度反映了案例在机理上的相似程度。

15.5 涡旋案例推理提取实例

由于当前海洋涡旋历史案例库的数量并不十分完善，且主要的案例是由遥感数据提取得来，因此为了有效地展示上文的算法，仅选取一些典型的海洋涡旋影像进行案例获取和相似性算法的具体示例(图 15-8)。图中给出的是湾流中一典型暖涡的几个历史案例和一个目标案例。其中(a)至(c)是该区域某年5月份的水色卫星影像，图中(e)是该区域在2004年同期的一幅温度反演图像，图中白色曲线勾画出暖涡的主要空间轮廓，灰色箭头为湾流的主要流向。

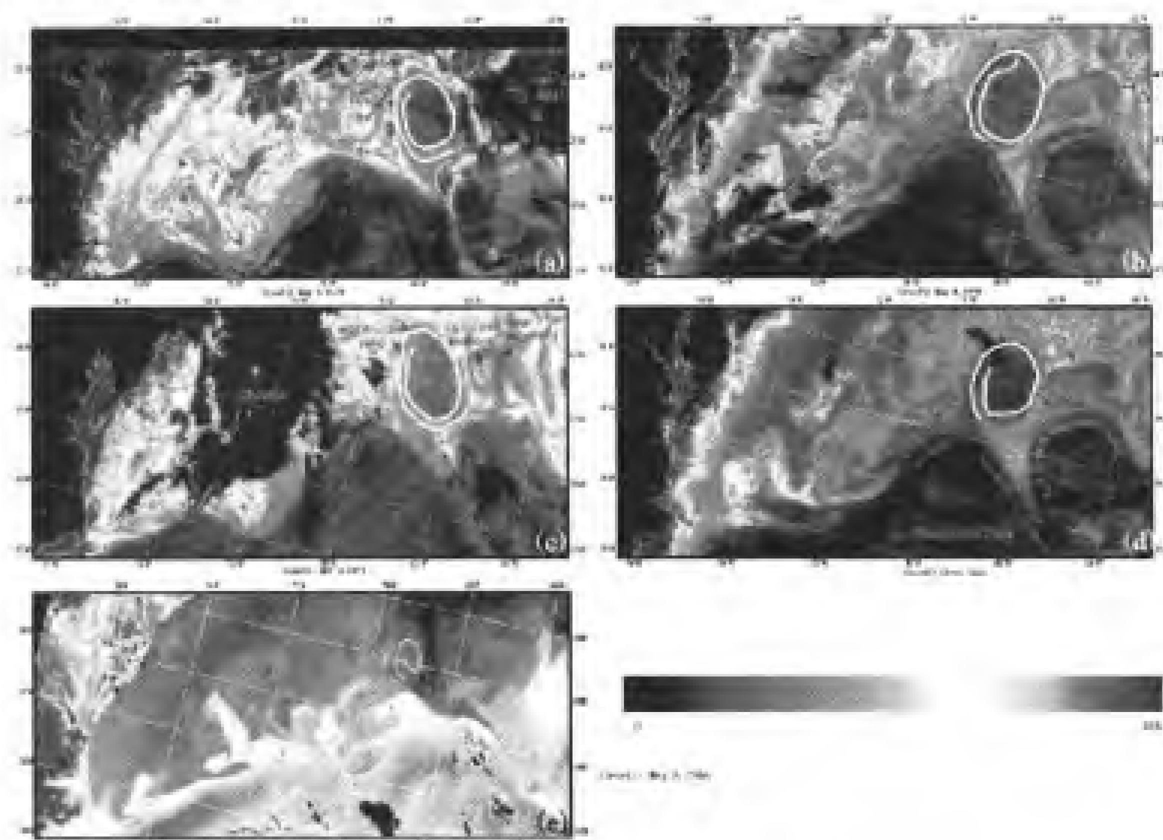


图 15-8 历史涡旋案例及目标案例示例

(a)5月2日历史案例；(b)5月3日历史案例；(c)5月8日历史案例；
(d)给定案例；(e)2004年5月6日案例；(a)~(d)底图为CZCS叶绿素分布影像图；
(e)底图为MODIS的温度反演影像，白色线划是涡旋的主要轮廓

对该暖涡的空间轮廓进行数字化并按照海洋涡旋案例的表达模型进行表达，形成一个小型的涡旋案例库。采用 GIS 中的距离量算功能定量求出涡旋的中心位置和直径。由于属性域的相似性计算采用简单的欧氏距离法，且给出的几个历史案例在属性上是基本一致的，因此不再具体给出属性相似性计算，主要展示案例空间相似性分析算法。依据 15.4 节提到的“基于重心的矢径序列”方法，对给定的(图 15－8(d))，分别计算目标案例与前面的 3 个历史案例的空间相似性系数，结果如图 15－9 所示。图 15－9 的(a)标出了图 15－8 中 5 个涡旋案例的空间轮廓、各自的重心以及各自的 n 等分点位和重心矢径，不同颜色代表不同案例；(b)图对应于 4 个涡旋案例重心矢径序列图。由这 4 条重心矢径距离序列求出案例之间相似性系数见表 15－1。可知，给定的目标案例与历史案例(图 15－8c)的空间相似性系数最大，表明给定的目标案例与历史上 5 月 8 日涡旋的空间结构极为相似，从而可以推断给定的目标案例发生时间与 5 月 8 日最为接近。由于缺少其他的辅助信息，还不能定量地给出该涡旋未来的发展趋势。

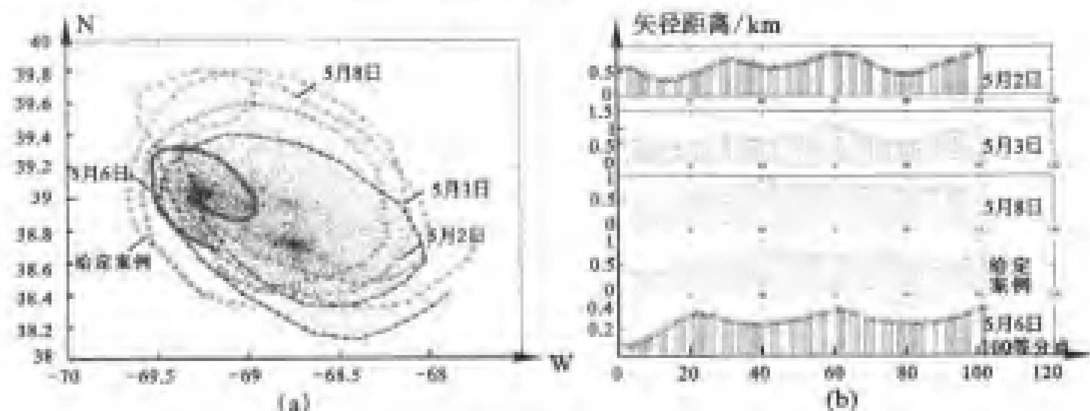


图 15－9　海洋涡旋的 CBR 信息识别与提取示例

(a)海洋涡旋空间轮廓的相似性分析图；(b)对应于各涡旋案例的重心矢径序列图

表 15－1　海洋涡旋案例空间相似性系数一览表

相关系数	案例(1)	案例(2)	案例(3)	当前案例(4)	案例(5)
案例(1)	1.000 0	0.961 1	0.570 9	0.537 2	0.542 1
案例(2)	0.961 1	1.000 0	0.424 9	0.376 9	0.519 6
案例(3)	0.570 9	0.424 9	1.000 0	0.873 2	0.311 0
当前案例(4)	0.537 2	0.376 9	0.873 2	1.000 0	0.594 9
案例(5)	0.542 1	0.519 6	0.311 0	0.594 9	1.000 0

本研究结合当前海洋研究领域对中尺度涡旋定量研究的现状，提出了利用案例推理的方法进行海洋涡旋的空间定量分析的方法。首先根据海洋中尺度涡旋的特点，探讨海洋涡旋 CBR 信息提取的具体方法框架；其次，探讨了海洋涡旋案例具体的表达模型，基于作者以往的案例综合表达模型研究成果和地理数据库的思想扩展了海洋涡旋的空间表达模型；第三，在海洋涡旋案例表达模型上构建了海洋涡旋的 CBR 空间相似性模型，提出了“基于重心的矢径序列分析”的简化方法，作者在实际研究过程中的大量实验证实

这一方法的有效性和可信性，然而该方法仍然属于经验方法，还不能成为描述地理案例空间形态相似性的最优模型；最后以北大西洋墨西哥湾流的水色影像为数据源，进行海洋涡旋的 CBR 空间相似性信息提取和分析。从结果看该方法用于海洋涡旋空间信息提取和分析是可行的。

可以预测，随着海洋遥感多时相、多波段、多维信息的丰富，继之长时间序列的典型海洋中尺度涡旋历史案例库的完善，利用 CBR 方法进行海洋中尺度涡旋的定量分析与预报将得到广泛应用，同时通过该方法积累的大量历史案例也将为海洋动力学深入研究创造条件。

参考文献

1 杜云艳，周成虎，邵全琴，等. 2002. 地理案例推理及其应用，地理学报，(1)：151－158

2 管秉贤. 1986. 东海海流结构及涡旋特征概述. 见：海洋科学集刊. 北京：海洋出版社，1－21

3 管秉贤. 1983. 台湾以东及东海黑潮调查研究的主要动向及结果，海洋学报，2(5)：133－146

4 郭炳火，葛人峰. 1997. 东海黑潮锋面涡旋在陆架水与黑潮水交换中的作用，海洋学报，19(6)，1－11

5 郭炳火，林葵，等. 1990. 对马暖流源区 1986 年 6 月的水文状况. 见：黑潮调查研究论文选. 北京：海洋出版社，1－10

6 郭炳火，汤毓祥，等. 1995. 春季东海黑潮锋面涡旋的观测与分析. 海洋学报，17(1)：13－23

7 郭炳火，万邦君，汤毓祥. 1995. 东海海洋锋的波动及演变特征. 黄渤海海洋，13(2)：1－10

8 贺志刚，王东晓，等. 2001. 卫星跟踪浮标和卫星遥感海面高度中的南海涡旋结构. 热带海洋学报，20(1)：27－35

9 胡敦欣，等. 1979. 东海北部夏季一个气旋型涡旋的初步分析. 科学通报，25(1)：29－31

10 黄浩升，孙湘平，袁业立. 1996. 黑潮流域的环流数值研究. 海洋学报，18(5)：134－139

11 姬光荣，陈霞，贾飞臻，等. 2002. 一种海洋遥感图像中尺度涡的自动检测方法. 海洋与湖沼，33(2)：139－144

12 李徽翡，赵保仁. 2001. 渤、黄、东海夏季环流的数值模拟. 海洋科学，(1)

13 李荣凤，郭冬建，曾庆存. 1995. 冬季中国海涡旋和逆风海流的数值实验. 热带海洋，14(2)：1－9

14 刘继敏. 2000. 基于形状图像检索的研究：[博士论文]. 中国科学院，43－54

15 潘德炉，李淑菁，等. 1996. 卫星海洋水色遥感的辐射模式研究. 海洋与湖沼，27(6)

16 潘德炉，毛天明，等. 2000. 卫星遥感监测我国沿海水色环境的研究. 第四纪研究，20(3)：240－246

17 齐义泉，施平，等. 1998. GEOSAT 高度计遥感分析南海北部的海浪研究. 海洋学报，20(2)：20－26

18 齐义泉，施平，等. 1999. GEOSAT 卫星遥感资料研究南海海面动力高度场和地转流场. 海洋学报，21(1)：11－16

19 史忠植. 1998. 高级人工智能. 北京：科学出版社，78

20 苏育嵩，李凤岐，王凤钦，等. 1996. 渤、黄、东海水型分布与水系划分. 海洋学报，18(6)：1－6

21 王东晓，施平，等. 2001. 南海 TOPEX 海面高度资料的混合同化试验. 海洋与湖沼，32(1)：101－108

22 王东晓，陈举，等. 2004. 2000 年 8 月南海中部与南部海洋温、盐与环流特征. 海洋与湖沼，35(2)：97－109

23 谢强，王东晓，等. 2001. 南海几种海面风应力资料的比较分析. 热带海洋学报，20(1)：91－100

24 袁耀初，刘勇刚，等. 2000. 1997 年夏季台湾岛以东与东海黑潮. 见：中国海洋文集. 北京：海洋出版社，1－10

25 Asad Khattak，Adib Kanafani，Case-based Reasoning. 1996. A planning Tool For Intelligent Transportation Systems，Transportation Research，Part C：Emerging Technologies，4(5)：267－288

26 Burke E K，Maccarthy B，Petrovic S，Qu R. 2000. Structured cases in case-based reasoning re-using and adapting cases for time-tabling problems，Knowledge-Based Systems 13：159－165

27 Canny J. 1986. A computation approach to edge detection. IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell. 8(2)：679－698

28 Coenen F P, Beattie B. 1998. Spatio-temperoal reasoning using a multi-dimentional tesseral representation, Proceedings of ECAI, 10: 140 – 144

29 Deli Wang, David Terman. 1995. Locally Excitatory Globally Inhibitory Oscillator networks, IEEE trans. On Neural Networks, 6(1)

30 Jones E K, Roydhouse A. 1994. Intelligent retrieval of historical Meteorological Data, AI Applications, 8(3): 43 – 54

31 Kenneth R. 2002. Castleman, Digital Image Processing, Publishing House of Electronics Industry, 50

32 Kolodner J. 1993. Case-Based Reasoning, San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers, 1 – 30

33 Nichol D G. 1987. 1Autonomous extraction of an eddy2like structure from infrared images of the ocean1IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 25(1): 28 – 34

34 Patrick J, Hogan, Harley E. 1999. Hurlburt, Impact of different Wind Forcing on Circulation in the Japan/East Sea, Proceddings of the CREAMS99 International Symposium, 124 – 127

35 Sudeep Sarkar, Kim L. 1993. Boyer, Integration, Inference and Management of spatial information Using Bayesian Networks: Perception Organization, IEEE Trans, PAMI, 15(3)

36 Zhiyong Yang, Songde Ma. 1996. A phenomenological approach to Salient maps and Illusory Contours Network: Computation in Neural System, 7: 555 – 571

第16章　数字辽东湾——数据建设

16.1　数据平台需求分析

16.1.1　数据需求分析

在综合分析国内外海岸带信息管理与服务的基础上，结合辽东湾的环境管理需要，对数字辽东湾所需数据进行了详细的需求分析，将其概括为一般性数据需求和专业性数据需求。

整个数据平台系统有两条主要的数据需求轴线(如图16－1)：左边的主线围绕海岸带一般信息服务的数据需求(如土地利用、潮滩变化研究等)；右边的主线是围绕当前海岸带海洋热点科学问题对数据的需求进行展开(如海洋动力模型、环境容量等)。这两类数据需求的交集是辽东湾海岸带基础数据，主要包括面向辽东湾海岸带的多级分辨率遥感影像、基础地理数据、海岸带综合调查数据等多方面的内容。考虑到卫星遥感数据是现代海洋科学重要的信息源，且数字辽东湾需要建立专门应用于辽东湾海洋和海岸的实用化数据平台系统。因此我们所建立的辽东湾海岸带近海数据平台主要以多源、多时相、多分辨率为依托，匹配相应的陆域、滩涂、海域的海岸带土地利用和调查数据，希望能为辽东湾海岸带海洋研究提供数据共享，包括信息查询、检索及初步数据分析服务。

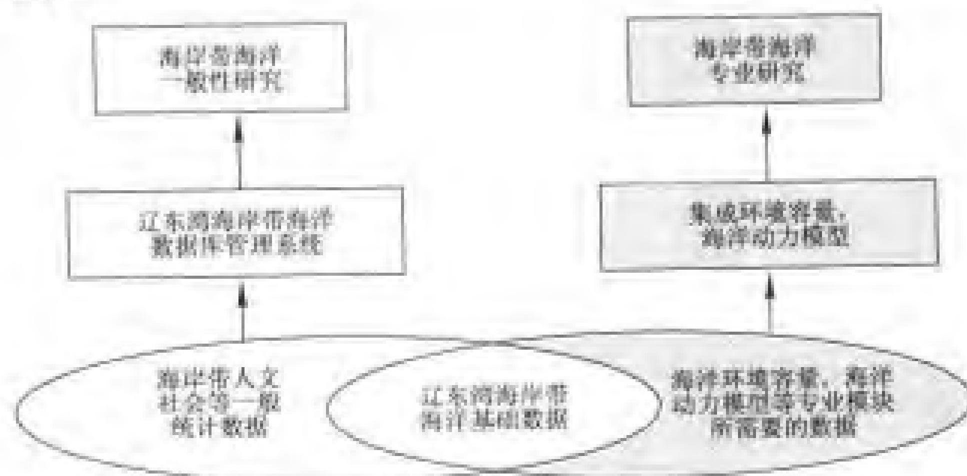


图16－1　辽东湾海岸带海洋数据库数据需求

16.1.2 主要数据类型

辽东湾海岸带海洋数据平台系统中的数据类型主要有多源遥感数据，基础地理数据，观测数据与调查数据以及元数据和科学文献数据四大类，下面对每一类数据作简单的说明。

1. 多源遥感影像数据

主要是涵盖整个辽东湾海岸带及海域的多分辨率、多时相的遥感影像数据。分辨率从低到高依次为：1 km 的 NOAA 影像，TM/ETM 陆地卫星数据，米级的高分辨率卫星(中国资源二号)。这些多分辨率影像覆盖了整个辽东湾海岸带及海域。在时间上，整个辽东湾范围内的遥感影像以某一年份的准同步影像为基准，完成多时相影像的集成。

2. 海岸带基础地理数据

海岸带海洋的基础背景数据是海岸带海洋数据库的数据基础，它为实现对海岸带海洋的高效管理奠定了坚实的数据基础。这些基础地理数据包括海岸带范围内的省县界、海域范围、河流、道路，城市、地形等基本要素层。由于海洋和陆地的分割，当前的数据在海岸带这个特定的区域存在海陆数据地理基础的不匹配问题，需要通过接边、投影转换的一些关键技术来得到解决。

3. 海洋观测与调查数据

包括常规的海岸带大面调查信息，以及站点或者断面的观测资料。专题数据限于常规的海岸带制图或者海洋的水文环境(温度、盐度、潮位)数据。其中调查数据主要侧重于辽东湾海岸带从陆域、滩涂到海岛资源的普查信息(包括土地利用、土壤、底质等专题)。

4. 元数据及科学文献数据

元数据是指上述三大类数据各自相应的说明数据。文献数据收录的是迄今为止国内外对辽东湾区域的一些研究论文信息。

16.1.3 实现的技术能力

要保证数据平台系统的顺利开发与构建，不仅要对数据进行详细的需求调查分析，还要对技术进行详细的调研。

本研究所要建立的辽东湾海岸带海洋数据库系统主要以卫星遥感数据为主，面向辽东湾多种海岸带海洋的研究目的来搭建数据库系统，因此从技术的角度上需要解决海量遥感数据的集成与管理技术。

从地理信息系统(GIS)技术的发展来看，采用大型网络数据库系统管理地理信息一直是 GIS 努力的方向，这主要是因为调用大型网络数据库中的数据有三大优点：实时性强，能获得大量最新信息；能够充分利用大型数据库海量存储的特点；可以充分实现信息共享的目标。

随着技术的发展，现今大型的网络数据库系统都增加了管理空间数据的能力，故原

来在GIS中分开进行管理的空间和属性数据可以在关系型数据库中进行统一管理，并实现遥感影像在统一空间框架下的无缝管理。

通过以上的分析，不难看出，建设海岸带海洋数据库能够满足海洋研究者的数据需求，而且目前也具备了建设的技术基础。

16.2 数据库建设

16.2.1 源数据描述

1. 遥感影像数据

1)MODIS数据

数据来源于中国科学院地理研究所，包括从2001年10月1日到2002年3月31日为期6个月的MODIS L1B数据，接收的空间范围为中国海岸带及近海海域，分辨率分别为250 m、500 m、1 000 m，数据采用国际标准的HDF-EOS格式存储，总数据量为220 GB。由于影像质量等原因，只选取了其中的111景影像进行了校正。

2)TM/ETM数据

覆盖辽东湾的遥感影像的轨道号包括119032、119033、120032、120033、121032、121033共7景影像(轨道号具体情况可以参考图16-2)，影像具体的时间可以参考表16-1。TM/ETM+原始数据以裸数据格式存储，即以二进制文件分波段存储通道数据并以单独的头文件记录影像数据的管理信息(Administrative Record)、辐射信息(Radiometric Record)和几何信息(Geometric Record)。由于传感器的不同，收集的TM/ETM+数据有两种裸数据格式，分别为EOSAT FAST FORMAT-B格式和EOSAT FAST-L7A格式，其中TM数据以EOSAT FAST FORMAT B格式存储，ETM+数据以EOSAT FAST-L7A格式存储。TM影像分辨率为30 m，ETM影像的分辨率最高为15 m，整个辽东湾TM/ETM数据量为3 GB。

表16-1 辽东湾TM/ETM影像表

轨道号	119032	119033	120032	120033	121032	121033
影像类型	ETM+	ETM+	ETM+	TM	ETM+	ETM+;TM
成像时间	2000-06-21	2000-05-04	2000-06-12	2000-07-06	2000-06-19	2000-02-28 1999-08-28

3)资源二号数据

资源二号卫星是我国发射的地球资源卫星，其上携带了高分辨率全色传感器，资源二号卫星影像数据以Tiff格式存储，并附带了轨道号、成像时间、空间范围等基本的元数据信息。

本研究中收集到的资源二号影像，其成像时间基本为2000年和2001年。影像的轨道号可以参考图16-3。辽东湾区域的资源二号影像共计有59景，数据量为6 GB。

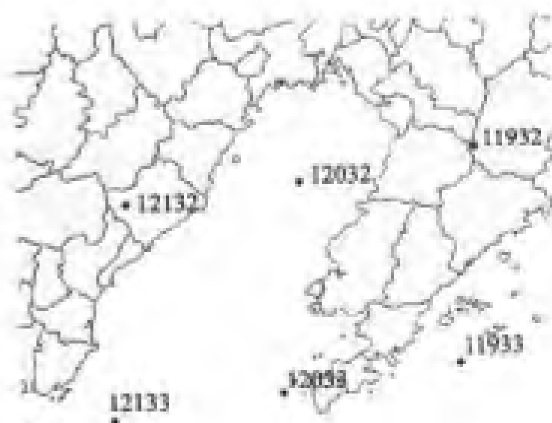


图 16－2　辽东湾 TM/ETM 影像轨道图

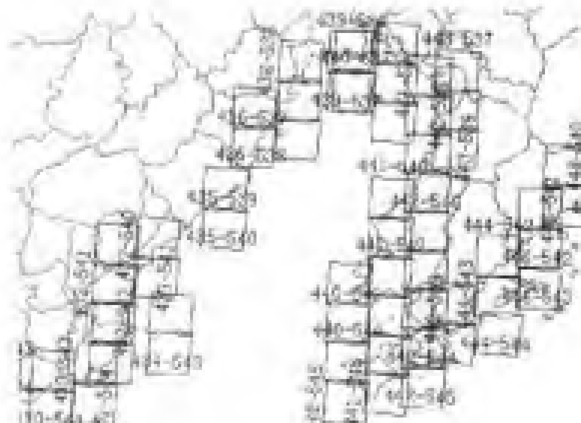


图 16－3　资源二号影像轨道号

2. 基础地理数据

1)1∶25 万和 1∶100 万海岸带背景数据

1∶25 万海岸带背景数据包括海区的等深线、地貌、城镇、居民点、政区、水系、自然保护区、辅助要素、铁路等专题，采用地理坐标，来源于中国科学院地理研究所。

1∶100 万海岸背景数据包括 TM/ETM 轨道、沿海省份、沿海 1∶100 万及 1∶10 万地形图分幅、地貌、城镇、居民点、政区、水系、铁路等诸多要素。采用 Albers 投影，中央经线 105°，两纬线为 25°和 47°，使用的椭球体为 Clarke _ 1866，来源中国科学院地理研究所。这两个背景数据总数据量约为 1 GB。

2)1∶10 万全要素图

辽东湾区域共有 48 景 1∶10 万全要素图(图 16－4)，已经校正为 Pix 格式，采用高斯克吕格投影，数据量为 1.5 GB。

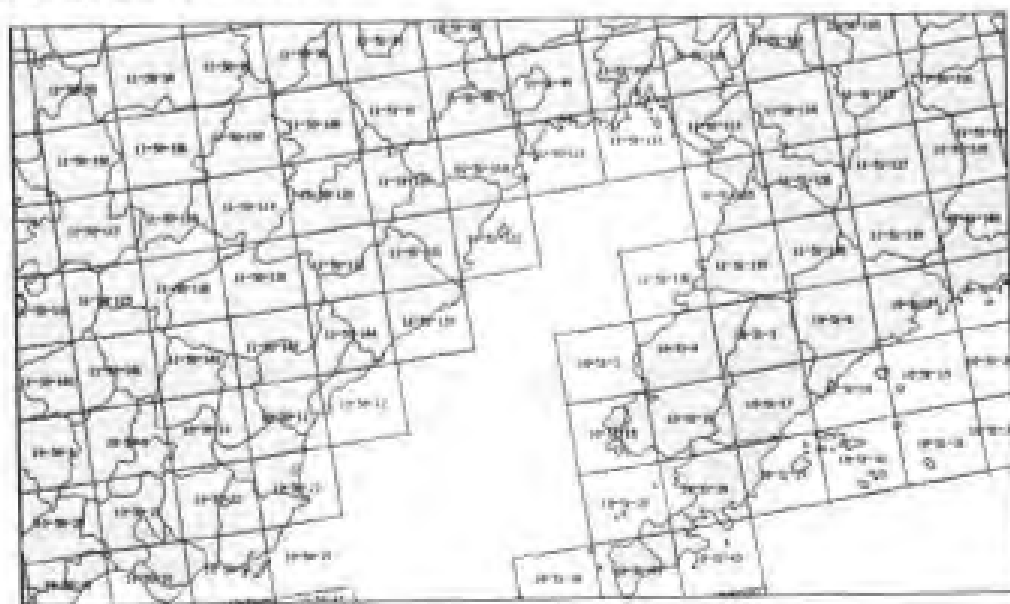


图 16－4　1∶10 万全要素图

3. 专题数据

1)80 年代海岸带调查数据

《中国海岸带和海涂资源综合调查图集》是 20 世纪 80 年代全国海岸带和海涂资源综合调查成果的综合反映和可视化表达,包括中国海岸带地形、气候、水文、地质、地貌、土壤、植被、生物、环境和土地利用等基本自然地理特征要素。该图集大小为 4 开本,基本分幅比例尺为 1∶20 万,本数据来源于国家 80 年代海岸带调查图集。

在辽东湾范围内,总计有 50 幅,对其采用 300 dpi 进行了扫描,以 Tiff 格式保存,数据量有 1 GB。在此基础上,对辽东湾的土地利用、底质、植被、地貌四个专题进行了数字化。

2)土地利用数据

土地利用数据共计有三期,包括 80 年代海岸带调查时期的土地利用数据,1995 年和 2000 年的土地利用数据。80 年代的数据在前一个专题已经介绍过,这里不再介绍。1995 年和 2000 年的土地利用数据,其数据格式为 Coverage,按照县为单位进行存储,土地利用采用的是国家土地资源宏观遥感分类系统,投影系统采用 Albers 投影系统,数据量不足 200 MB,来源于中国科学院地理研究所。

3)辽东湾环境功能区划

主要包括辽东湾环境功能分区以及排污口分布,为 coverage 格式,Macator 投影,数据来源于辽宁省环境保护局,数据量只有几兆。此外,还有各个排污口排污的类型、数量等 Excell 数据。

4)辽东湾海域沉积类型及沉积成因图

包括整个辽东湾海域沉积物类型以及沉积成因,数据为 coverage 格式,投影为 Macator 投影,数据来源于中国海洋大学,数据量 40 MB。

5)辽东湾倾废区数据

数据是从国家海洋信息中心网站上公布的倾废区位置,倾废物数量而做成的 Coverage 数据,数据为 Macator 投影,数据量很小。

6)辽东湾的叶绿素数据,SST 数据

这两种数据都是以 coverage 形式存储,横轴墨卡托投影,1997 年数据,3 天 1 次,总计有 101 幅。

4. 其他数据

除了上面提到的三类数据之外,收集到的数据还包括辽东湾表层及水深 10 m,20 m,30 m 的温盐密等值线图、跃层等值线图,他们都是采用 Mercator 投影,以 Coverage 格式存储,数据来源于中科院地理所。

辽东湾港口数据库,数据来源于国家海洋信息中心网站,主要的信息包括港口名称、河道深度、码头深度、港口大小、进港船只数目限制、修建时间等。数据存储格式为 Excell 形式。

海岸带调查中辽东湾区域内的海湾资料及数据,这些都是以 Word 格式存储的,按照海湾对数据进行了组织。

16.2.2 数据处理及质量控制

前面对于辽东湾的数据类型进行了分析，从中不难看出，辽东湾海岸带海洋数据种类繁多、格式各异，这就使得人们在存储和应用以前必须对其进行前期处理，完成各种校正及其格式转换工作。下面就以遥感数据和 20 世纪 80 年代海岸带调查数据的处理和质量控制为例对其进行说明。

1. TM/ETM 影像的校正

1)数据时间分布

由于 TM/ETM 影像具有较高的光谱和空间分辨率，所以在数据库建设中也将其作为一个非常重要的数据源。在数据库中收集的数据以 2000 年为主，共收集了辽东湾 2000 年前后的 TM/ETM+影像共 7 景，其中 2 景为 TM 数据，另外 5 景为 ETM+数据。在时间分布上，辽东湾海岸带 TM/ETM+影像有 6 景是 2000 年，1 景为 1999 年。在影像的季节分布上，冬季 1 景，春季一景，夏季 5 景。

2)TM/ETM+几何校正质量控制办法

TM/ETM+影像几何校正所用的软件为 PCI8.2，具体的几何校正方法是通过在 1∶10万扫描地形图上采集相应的地面控制点(GCPs，Ground Control Points)(这些扫描地形图已经经过几何精校正，几何误差控制在 10 m 以内)。地面控制点的选取要求做到分布均匀，位置尽量精确，控制点个数要求能满足二次多项式系数求解即 7 个以上，条件允许时尽量多选些控制点，以减小校正误差。

TM/ETM+影像几何校正统一用二次多项式进行，X 方向残差、Y 方向残差和 RMS(均方根)误差均控制在 1 个像素内。辽东湾 TM/ETM+影像几何校正都已经完成，所有影像其 RMS 误差都小于 1，校正精度比较高，基本达到了规定的要求。

几何校正精度除了要考虑 X 方向残差、Y 方向残差和 RMS 误差大小之外，还应考虑 X 方向残差和 Y 方向残差之间差异的大小，理论上来说应尽量使两者之差越小越好，这样校正后的影像变形才会更小。通过对辽东湾 7 景已经校正影像的分析可知，X 方向残差和 Y 方向残差之差绝对值在 0～0.1 个像素之间的影像有 6 景，在 0.1～0.2 个像素之间的影像有 1 景，从这个方面也说明几何校正精度较高。

2. 资源二号卫星影像数据质量控制

1)资源二号卫星影像概述

资源二号卫星影像具有很高的空间分辨率，其在海岸带和近海资源环境卫星遥感应用研究中可能具有很大的潜在优势。为探索资源二号卫星影像在海岸带和近海资源调查、环境和海岸工程监测等多个研究方面的应用价值和潜力，辽东湾海岸带海洋数据库建设中，中收集了共 59 景资源二号卫星影像。

通过表 3-2 对原始数据的成像时间、季节进行统计，可以得到，在年度分布上，有 13 景 2000 年影像，其余 46 景为 2001 年影像；在季节分布上，春季影像有 37 景，夏季影像有 5 景，秋季影像只有 2 景，冬季影像 15 景；影像分布以冬春季占绝大部分。

2)资源二号影像几何校正质量控制办法

资源二号影像几何校正所用的软件为 PCI8.2，其校正方法同 TM 影像的校正流程

类似。其地面控制点(GCP,Ground Control Points)采自 1∶50 000 地形图,但是由于地形图成图时间是 20 世纪 70 年代,相对较老,一定程度上影像了高分辨率的几何校正精度。为了在有效的条件下尽量提高资源二号卫星影像的几何校正精度,地面控制点的选取要求做到分布均匀,位置尽量精确,控制点个数要求能满足二次多项式系数求解,即 7 个以上,条件允许时尽量多选些控制点,以减小校正误差。

资源二号卫星影像几何校正统一用二次多项式进行,要求 X 方向残差、Y 方向残差和 RMS(均方根)误差均控制在 5 个像素内(15 m)。

3)资源二号影像几何校正精度评价与分析

高分辨率影像几何校正由于受地形图的限制校正的数量较少,目前仅校正了其中的 22 景,主要是校正的渤海湾附近的影像。为了分析该几何校正的精度,对每景影像的 X,Y 方向的残差进行散点图制作,如图 16-5 所示。并同时对 X 和 Y 方向的残差之差进行了统计,给出了柱状统计图,如图 16-6 所示。

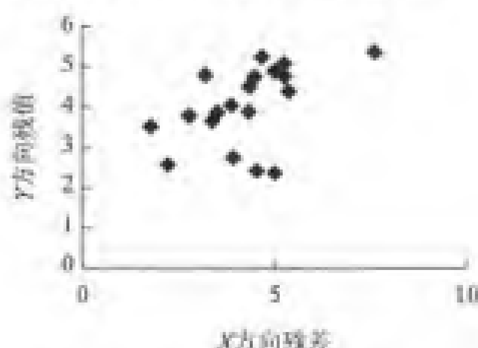


图 16-5 资源二号影像残差散点图

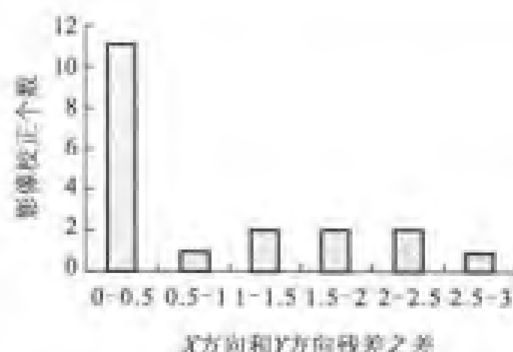


图 16-6 资源二号影像残差之差分布图

从图 16-5 和图 16-6 中可以看出,资源二号影像几何校正在 X 方向和 Y 方向的残差基本上比较均衡,但总体误差偏大,RMS 一般都在 5 个像素左右,部分影像由于地形、地物及海域分布面积不同等原因使其残差更大。究其原因主要是因为我们采用的地形图比较陈旧,导致控制点的选取误差较大,所产生的几何误差相对也就较大。

3. 扫描矢量数据质量控制

扫描数据以《中国海岸带和海涂资源综合调查图集》为例,该图集是 20 世纪 80 年代全国海岸带和海涂资源综合调查成果的综合反映和可视化表达,包括中国海岸带地形、气候、水文、地质、地貌、土壤、植被、生物、环境和土地利用等基本自然地理特征要素。该图集大小为 4 开本,基本分幅比例尺为 1∶20 万,地图投影多采用高斯投影。

该图集是辽东湾海岸带海洋研究重要的基础背景资料和空间数据。对辽东湾图集分册中的底质、地貌、土壤、植被和土地利用等五个专题要素进行了扫描矢量化,形成了一套规范的扫描矢量化技术流程,将来可以为其他岸段及其他专题要素的扫描矢量化提供示范和技术支撑。

数据生产过程中质量控制是至关重要的一个环节,数据质量的好坏直接影响到数据的可用性,因此很有必要对图集扫描矢量化的每个环节进行严格的质量控制和评价,建立一套规范的质量控制和评价方法体系。

对于影像扫描前后都进行了一些质量控制处理，具体是分三步对其进行处理和质量控制。

(1)要进行扫描前处理及扫描质量控制与扫描精度评价：主要涉及到图集拆卸、压平以及扫描过程中的一些质量控制措施及进行相应的精度评价。

(2)为了便于矢量化及矢量化后的错误检查工作，对扫描图进行了几何精校正，在几何精校正的过程中，使用ERDAS软件中进行，采用UTM投影，WGS84基准，统一到50带，采用二次多项式进行几何校正，重采样分辨率20 m，在这个过程中有一个几何精校正的RMS误差要控制在一定的精度范围之内。通过对校正结果的分析，(均方根)误差最大值为0.81，最小值为0.06，平均值为0.4692。所有图幅的RMS(均方根)误差均小于1个像素，X方向和Y方向残差也都小于1个像素，也就是说X方向、Y方向和均方根误差均小于20 m，对应小于原图图面上0.1 mm，具有较高的几何校正精度。

(3)矢量化后的检查与质量控制：在整个矢量化过程采用ARCGIS8.1软件进行，各专题要素分幅、分层进行矢量化，采用统一的数据格式即COVERAGE存储矢量化结果，统一命名规则。矢量化后检查的主要内容包括空间错误和属性错误检查两个方面。

①空间错误检查及其修改。对于多边形图层需要检查其结点错误(包括悬挂点和伪结点)、label点错误和伪多边形错误；对于线性图层，需要检查其结点错误(主要是伪结点错误)。

空间错误主要利用ARCGIS中ARC命令行工具Labelerrors和Nodeerrors进行检查。

②属性错误检查。对于海岸带和海涂资源综合调查图集底质、地貌、土壤、植被和土地利用专题要素的扫描矢量化来说，其专题属性的正确性更加重要，必须保证矢量化属性精度达到98%以上。属性错误检查很难做到自动化，主要靠人工检查。属性错误检查根据要素复杂性、进度安排、精度要求等可以采用抽样检查或全部检查，其方法通常有三种：纸图检查、屏幕检查及纸图与屏幕相结合的检查方法。

纸图检查的做法是：检查时将初步矢量化结果以黑白线划图输出到硫酸纸上，将经几何校正的扫描图输出到一般介质上，然后将硫酸纸蒙在其上进行属性错误检查。

屏幕检查方法是直接在计算机屏幕上进行属性错误检查的一种方法，其原理与纸图检查方法相同，只是不打印输出而将计算机屏幕作为检查平台代替硫酸纸和普通纸质介质。

屏幕检查及纸图与屏幕相结合的检查方法，是将两者结合起来应用。

16.2.3 数据平台框架

1. 数据平台实体框架

辽东湾海岸带海洋数据平台的实体，根据数据类型的不同，一共包含几个大的数据子库，其中影像数据库又根据存储方式的不同包含了两大类内容，一种是以编目的方式进行的影像文件的管理，一种是结合重点区域进行的连续的影像的管理(镶嵌好的影像)。而非影像数据子库主要包含辽东湾海岸带海洋数据平台的相应专题数据，分几大专题进行组织和管理。元数据库作为上面两大子库的元信息单独进行存储管理，并随着

其他子库的变化而动态地进行更新，并作为基准数据进行网上发布，即 Internet 用户可以通过访问数据库的元数据来达到访问该数据库实体的功能。

2. 数据平台技术系统框架

由于辽东湾海岸带海洋数据平台涉及海量数据，特别是包含大量的遥感数据，所以在建设过程中需要解决海量数据的存储问题。为了解决这一问题，在进行平台建设过程中，采用了基于 Oracle9i 进行矢量和影像数据的统一管理和存储。

辽东湾海岸带海洋数据平台建设，包括两部分内容：第一个是以多分辨率、多时相的多源遥感信息及海岸带海洋专题要素数据、调查数据等为数据源，建立辽东湾海岸带海洋数据平台实体，为进行海岸带土地利用、盐田开发、水产养殖与捕捞、围垦、海岸与港口工程、河口整治、资源与环境评价等综合开发利用和管理提供所需要的数据；第二个是建立数据平台技术系统，包括数据平台管理系统和网上信息共享系统的设计与开发，为辽东湾海岸带海洋数据库管理和数据共享提供技术支撑。

16.3 数据库管理系统开发

16.3.1 系统结构设计

数据库平台管理系统的目标面向内部管理，采用局域网(LAN)内部的客户/服务器(C/S)结构，整个系统由开发层、应用层、解释层和物理存储层等四层结构组成。开发层和应用层为系统前端或客户端，采用组件技术定制而成；后端或服务器端为数据库实体，由 ORACLE9i 数据库管理系统存储和管理，即物理存储层；而前端与后端或客户端与服务器端的交互(主要指空间数据请求与响应)则由 SDE 空间数据库引擎负责，构成解释层。此外，利用 SQL server 软件对 SDE 空间数据进行有效组织，采用 SQL 字典表的形式管理各个图层，让用户可以方便地调整图层的组织形式及相关属性，如图层名称、顺序、比例尺等。

16.3.2 功能模块设计

数据平台管理系统包括五个主要的功能模块：输入、转换、查询、浏览与抽取。

16.3.3 用户界面设计

数据平台管理系统的用户界面如图 16－7 所示。

1. 数据浏览

对于一般用户，可以通过“图层控制面板”改变图层顺序、关闭图层或打开图层，从而实现数据浏览功能；对于高级用户(管理员)，可以通过 SQL Server 的企业管理器软件添加图层、改变图层顺序、关闭图层或打开图层，实现数据浏览功能。

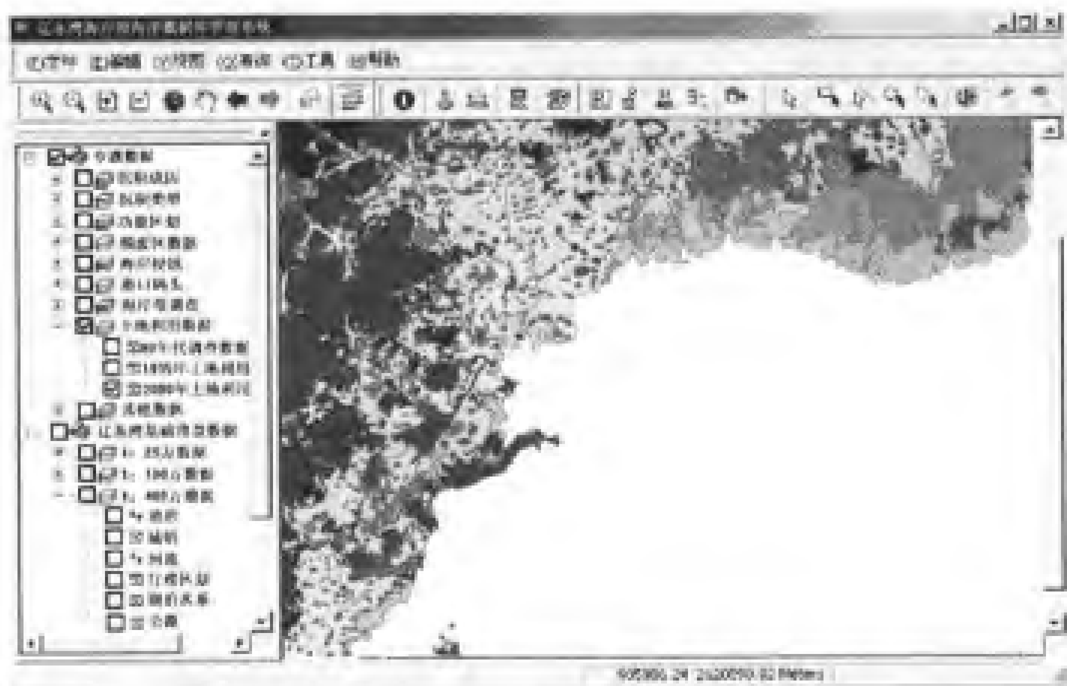


图 16-7　辽东湾海岸带海洋数据库管理系统用户界面

2. 数据的查询检索

1)矢量图层的查询检索

对于矢量数据的查询检索考虑采用四种查询模式:新选择集;递增模式;在选择集中选择;在选择集中移去。

在选择任意一种选择模式之后可以实现对于矢量数据的多种查询和检索:(a)按空间范围查询(实现矩形、圆形、多边形的空间查询,并可以缩放到已经选择的对象);(b)按照属性查询(先选择图层,给出过滤条件,然后执行);(c)按照空间关系查询(点击任意图层的任意要素,关系的种类,进行)。

2)影像图层(主要是针对的 Raster Catalog 方式管理的影像)的查询检索

由于辽东湾海岸带海洋数据平台采用 Raster catalog 的方式来存储影像数据,对于这种方式管理的影像进行查询和检索的方式相对较多,也非常灵活。在该系统中采用了三种查询检索的方式:(a)按空间范围进行查询,该功能可以实现任意投影类型的影像图层:任意给出一个矩形范围,就可以查到数据平台实体中所有的遥感图层在该范围内的影像个数,点击详细资料则可以看到详细的影像数据列表,再任意选取一景影像,可以在当前视窗的范围内选取;(b)按属性进行查询:任意选取一个遥感影像的 Catalog 图层,可以根据 Raster Catalog 表格中的字段名称进行查询,结果显示在当前的视窗内;(c)按要素查询,根据选定矢量图层选定要素的空间范围进行影像查询。

3. 数据导入

包括遥感影像的 Catalog 方式导入以及矢量数据和调查数据的导入。遥感影像数据编目方式(Catalog 方式)的装载界面如图 16-8 所示;矢量数据装载功能主要针对福建省土地利用数据而开发,其主要目的在于把福建省所有县的土地利用数据进行自动拼接整

合处理。为此，需要先建立一个空图层，该图层的属性与所要转入的数据一致，然后把所要转入的所有矢量图层选中，目标图层选新建立的空图层。



图 16-8　影像数据的装载界面

4. 数据抽取和转出

1）矢量数据

对源图层进行查询之后可以将选择集输出为 Shapefile 格式。

2）影像数据

对于 SDE 中镶嵌好的影像数据，本系统开发影像切割的功能，在图层上任意选定一空间范围，对其进行切割。切割后的影像可以存储成 TIFF、IMG 和 GRID 方式，切割后的影像可以在当前的窗口内以弹出窗口的形式显示(图 16-9)。

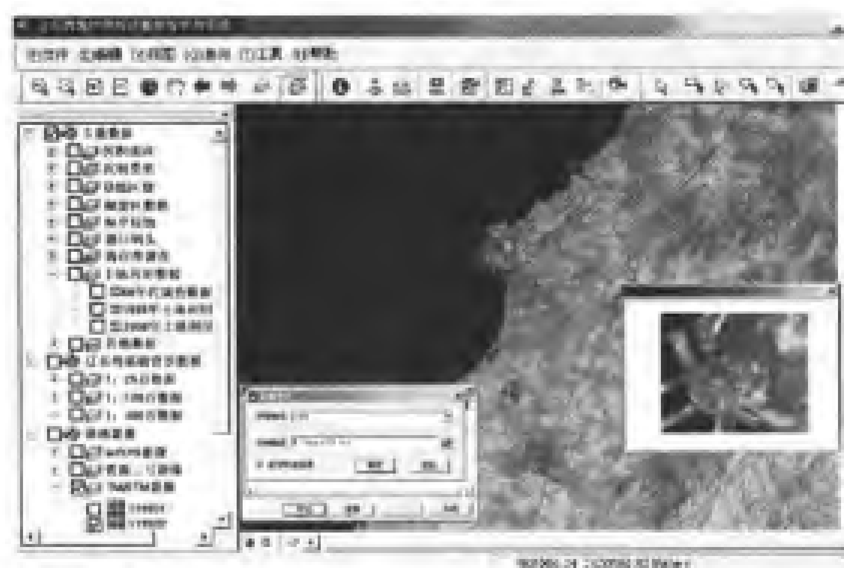


图 16-9　Map 方式存储的 SDE 影像进行切割的界面

5. 用户管理功能

可以进行用户的增加和删除、角色的增加和删除，以及用户密码的修改等操作，其用户界面如图16-10所示。

6. 书签功能

可以把当前窗口存成书签，以便下次使用，并可以进行书签的新建、删除、编辑等管理操作。

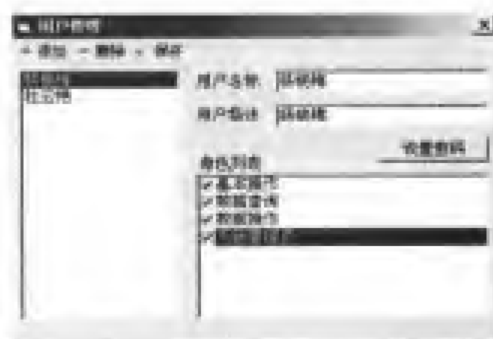


图16-10 用户管理的界面

16.4 数据网上共享平台建设

随着Internet技术的飞速发展以及人们对数据共享的需求，使得数据的网上共享成为可能。在本节中，采用WebGIS技术对辽东湾数据的共享进行探讨。基于Internet的数据网上共享平台信息在一定权限的控制下可以让网络上的用户随意的访问装载在服务器上的数据库实体，这一部分可以实现对矢量数据、影像数据的查询和快速浏览，以及根据元数据库访问底层数据等功能。下面首先介绍一下WebGIS的特点。

16.4.1 WebGIS的特点

WebGIS是GIS技术和Internet技术结合而成的产物。Internet的迅速崛起，使得Web技术成为高效的全球信息发布技术。因此，利用Internet技术在Web上发布地理信息，就能从网络的任意一个节点浏览WebGIS站点中的地理信息，并进行各种信息检索和处理，使专业人员及时了解各种信息和数据，为地理信息的开放和共享性提供了切实可行的技术。

Web GIS采用了当前主流的通信、应用协议和体系结构，特别是客户端软件采用了通用的浏览器，大大增强了开放性(图16-11)。与传统的基于桌面或局域网的GIS相比，WebGIS具有以下特点。

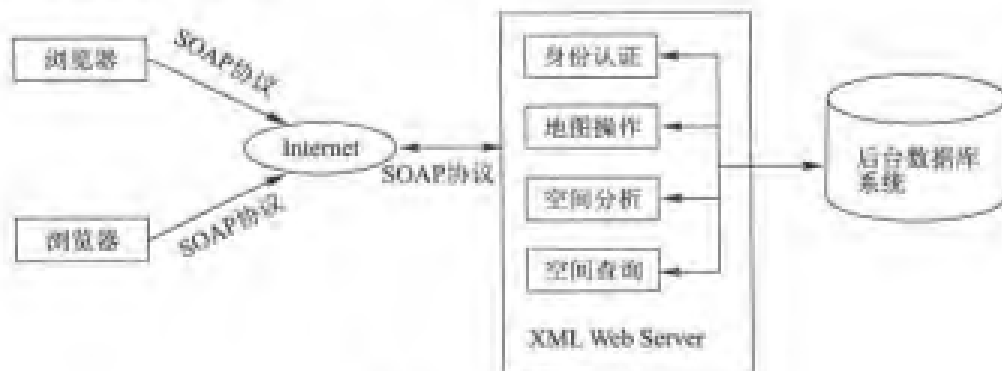


图16-11 WebGIS结构图

1. 真正信息共享

WebGIS 使用通用的浏览器进行信息发布，这样就使得不仅专业人员而且普通用户也可以方便的获取所需信息。目前，网络服务正渗入全球的每一个角落，每个用户都可以通过 Internet 来获得 WebGIS 服务器提供的服务，从而实现了 GIS 真正的大众化和信息共享。此外，由于分布式技术的存在和应用，使得用户可以同时访问多个位于不同地点的服务器上的最新数据，这极大方便了 GIS 的数据管理。因此用户使用的数据既可以是本地的也可以是分布的数据信息集，使传统 GIS 向分布式 GIS 转变。

2. 操作简单

用户通过通用的 Web 浏览器以及各个页面上的内容和提示进行点击或者操作，浏览和查询空间数据和属性数据，操作复杂度也非常低。通过这种方式，可以广泛推进 GIS 应用，使 GIS 系统为广大的普通用户所接受。

3. 平台的通用性

传统 GIS 软件都是针对不同操作系统，在其上运行。通过 Internert 技术的 WebGIS 可以做到一次编程，处处运行，真正发挥跨平台的技术优势。与客户机/服务器是哪种机器以及 Web GIS 服务器端使用 GIS 软件的类型无关。由于应用了通用的 Web 浏览器，用户就可以透明地访问 Web GIS 数据，实现远程异构数据共享。

4. 成本低廉

普通 GIS 需要在每个客户端配备昂贵的专业 GIS 软件，但用户使用的经常只是一些最基本的功能，这造成了极大的浪费。WebGIS 在客户端通常只需使用 Web 浏览器进行地理信息的发布，有时所需要安装的一些插件如 ActiverX 或 JavaApplet 等都是免费的，所以相对于全套专业 GIS 软件来讲，终端用户的成本和技术要求就大大降低。

此外，WebGIS 开发工具丰富，功能比较强大，界面上具有较强的多媒体效果，操作简单，用户界面友好；在系统安全性方面，有的 WebGIS 软件还具有对数据访问的安全控制。通过口令密码可以限制访问人员的范围以及可访问的内容。

16.4.2 体系结构和信息传递机制

本体系结构是一个多层结构，如图 16－12 所示。它主要由表现层、中间层、服务器层和数据层存储组成。

(1)表现层：是指客户端各种 Viewer，支持多种诸如 HTML 客户端、Java 客户端和 ArcExplorer—JavaEdition 客户端等操作性能优化的客户端浏览器。如 Java 浏览器客户端在客户端机器上将数据处理的符合自己的要求，并不需要与服务器交互便能立即执行许多任务。它返回给客户端 Viewer 的要素流服务信息都是经过优化压缩的格式。

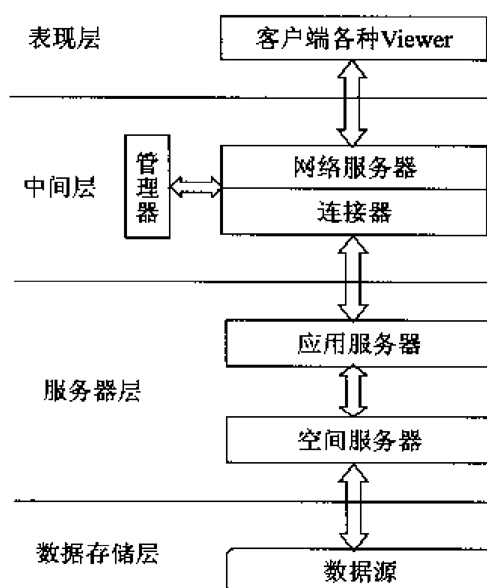


图 16－12　体系结构

Java 应用可以作为 Web 浏览器(Java Viewers)访问数据，同时也可作为独立的一个应用程序，在这种情况下客户端要下载并安装免费的 ArcExplorer，或在 Java 运行环境中访问。

HTML 浏览器相对于 Java 浏览器来讲，在客户端上只需要执行少量的数据处理工作，更为轻便。对于仅仅需要简单的地图显示功能的客户端来讲，HTML 浏览器是最好的选择，目前通用的浏览器(Internet Explorer，Netscape Navigator)都可以访问。但是 HTML 浏览器访问的只是 JPEG 或 GIF 格式的栅格数据，而运用 Java 浏览器访问的是矢量数据，同时还可以和本地的矢量数据(主要是 shapefile)添加在一起进行处理分析。

(2)中间层：中间层主要是由许多中间件所组成，中间件是由网络服务器(Web Server)、应用服务器连接器(Application Connectors)、管理器(Manager)几部分组成。通过万维网 Web 服务器使用 HTTP 传递信息，Web 服务器从客户端接收请求，并创建网页在客户端发布。

(3)服务器层：包括各种应用服务器(Application Server)和空间服务器(Spatial Server)，两者之间的关系可见图 16－13 所示。在图中中间件后台程序 Tasker 根据用户制定的每个影像服务的间隔时间，删除由影像服务的临时文件，从而完成执行服务器端清理的任务。另一个中间件后台程序 Monitor 是一个与空间服务器一起在后台运行的程序，它的功能是启动新的地图服务和控件服务器，并在空间服务器或计算机故障的时候重新启动服务。

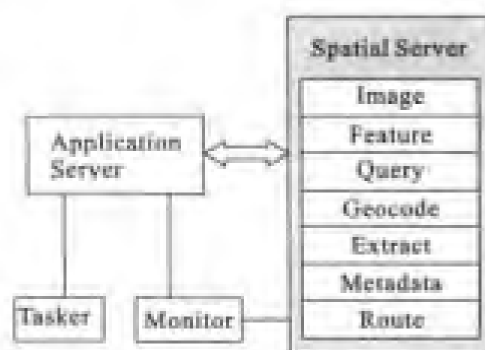


图 16－13　空间服务器与应用服务器关系图

空间服务器(Spatial Server)提供访问地图数据的功能。此外，它还可以在向客户端的 Web 浏览器传输相应结果之前会作出各种各样的判断，保证向客户端准确的创建地图和传输相应格式的数据。它主要包括 Image，Feature，Query，Geocode，Extract，Metadata，Route 七个空间服务，它们分别处理不同的请求，当空间服务器收到请求后，就可以完成一个或多个上述功能。

应用服务器是处理输人请求、负载平衡的程序，作为一种后台程序(NT service/UNIX daemon 服务)来运行。多个 Web 服务器可以同时于应用服务器进行通信，在分布环境下，应用服务器可以安装在与 Web 服务器不同的机器上。

(4)数据存储层：包括指各种数据源。系统支持所有基于文件的数据和基于 DBMS 的数据，它可以从多个数据源集成数据，用户不但可以从多个站点上合并数据，而且还可以把本地数据和系统的层进行集成，此外它还可以通过 SDE(空间数据引擎)从外部获取数据。

16.4.3　辽东湾海岸带海洋共享平台系统结构设计

"数字辽东湾"数据网上共享服务系统采用浏览器/服务器(B/S)结构，其总体结构如图 16－14 所示。网上信息共享服务系统客户端为网络浏览器(如 IE，NetScape 等)，而其

服务器端结构比较复杂，由以下几个部分组成。

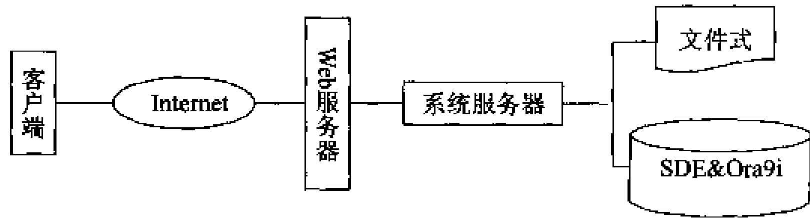


图 16-14　数字辽东湾网上平台构架

1. 功能模块设计

网上信息共享服务系统功能模块设计主要包括网上权限设计和网上查询浏览功能设计两个部分，分别介绍如下。

1)网上权限设计

网上权限设计的具体流程可以参考图 16-15。通过权限设计可以使得不同用户对于不同的数据有不同的访问权限，从而可以更好的实现数据的共享问题。

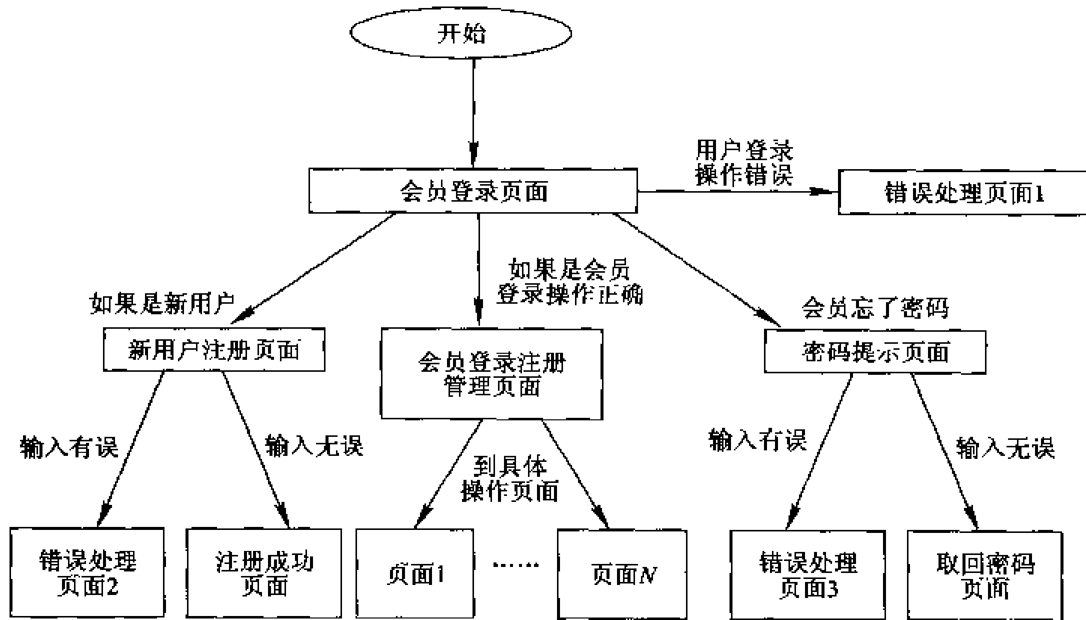


图 16-15　辽东湾数据网上信息服务权限设计

在对用户的服务方式上面，具体的用户服务方式设计见图 16-16。辽东湾海岸带海洋信息网上共享服务的用户服务方式可以分为三类：①对话信息服务，包括对话查找、浏览查找和产品预定等方式；②离线数据分发服务（通过介质），包括景预定、标准预定等方式；③在线数据分发服务，包括 WWW 上的图形数据、标准产品、数据分发到相应的机构等方式。

2. 网上查询功能设计

用户网上查询功能包括一般的属性查询和图形查询两种功能，它们的详细流程如图 16-17 所示。通过流程 16-17，用户可以得到自己需要的数据或者想要查找的数据。

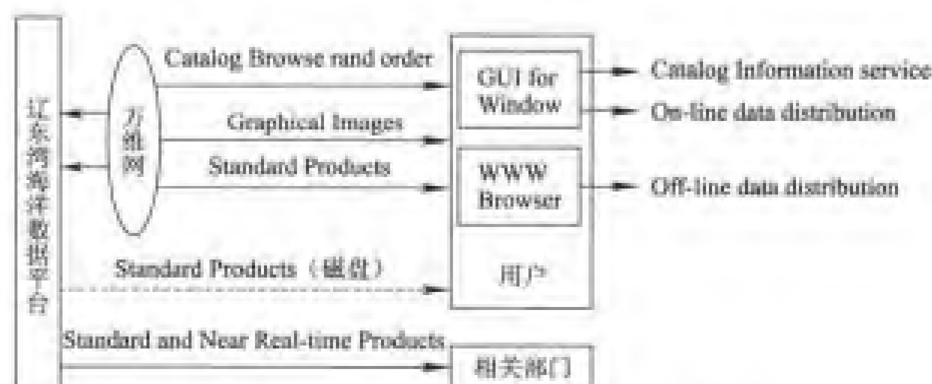


图 16－16　辽东湾数据网上服务的用户服务方式



图 16－17　网上查询的逻辑流图

2. 用户界面设计

1）主界面设计

辽东湾海岸带海洋数据平台网上信息服务系统主界面如图 16－18 所示。从图 16－18 可以看出，主界面包括以下几个组成部分。



图 16－18　辽东湾海岸带海洋信息共享服务平台

(1)标题栏：位于网页顶部，显示“辽东湾海岸带海洋信息共享服务平台”。

(2)图层控制面板：位于网页右部，用于显示辽东湾海岸带海洋数据目录信息，用户可以通过图层的开、关以控制显示哪些图层。

(3)视图显示窗口：位于网页中部，用于显示数据。

(4)工具条：位于网页左边，提供空间数据查询检索及浏览等基本工具。

(5)属性显示栏：位于网页底部，用于显示空间数据的属性表。

当进入该网址时，缺省的情况下出现的是辽东湾海岸带及近海的 1∶100 万的地理背景数据和海区图。当选择工具条中的放大功能时，随着比例尺的增大，会逐步显示相应地区的相应的图层信息，如：MODIS 的影像信息、TM/ETM 的影像信息或者 1∶10 万的土地利用信息等。

2)分部界面设计

分部界面设计主要包括以下几个方面：

(1)辽东湾基础背景数据。主要包括全国 1∶25 万，1∶100 万，1∶400 万的基础地理数据。为查询、检索、研究提供一个比较完整的底图。

(2)专题数据。针对辽东湾各个专题，分别建立了一系列的图层，目前共享的图层主要包括辽东湾沉积类型、沉积成因、功能区划、倾废区数据、海岸带侵蚀、港口码头、土地利用等专题。其结构具体如右所示。

点击相应的专题图层，在辽东湾海岸带海洋数据平台的全图上相应的专题高亮度闪烁，同时弹出其下一级相应的菜单列表，这些选中专题数据便显示在平台的视图显示栏内。

如点击土地利用数据，出现三个列表，20 世纪 80 年代海岸带调查数据，1995 年土地利用数据，2000 年土地利用数据三个项，选中某一项后，其数据便显示出来(图 16－19)。

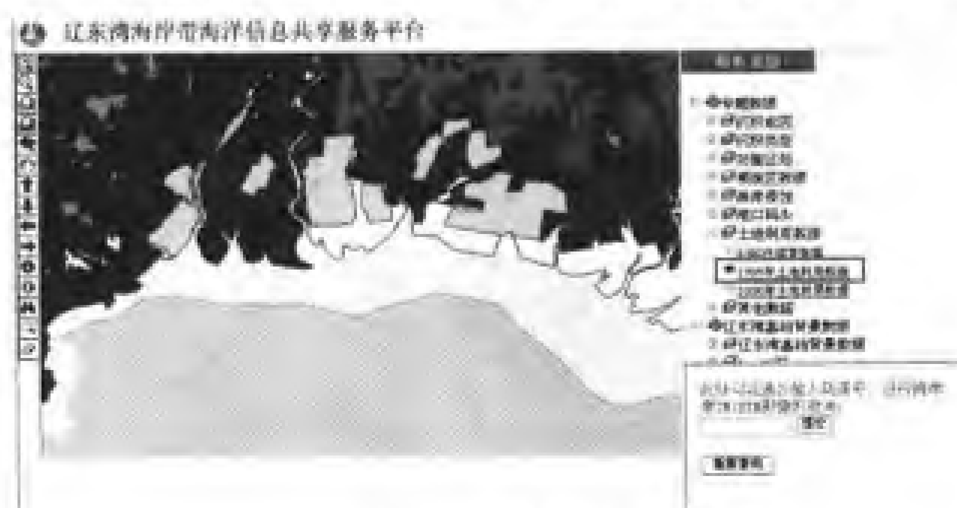


图 16－19　选择示例图

这个时候，可以对土地利用类型的属性进行查询，通过选择工具栏中的查询，便可以查询到相应斑块的土地利用类型(见图 16－20)。可任意选择图层进行叠加显示，并进行相应图层的属性与空间查询。

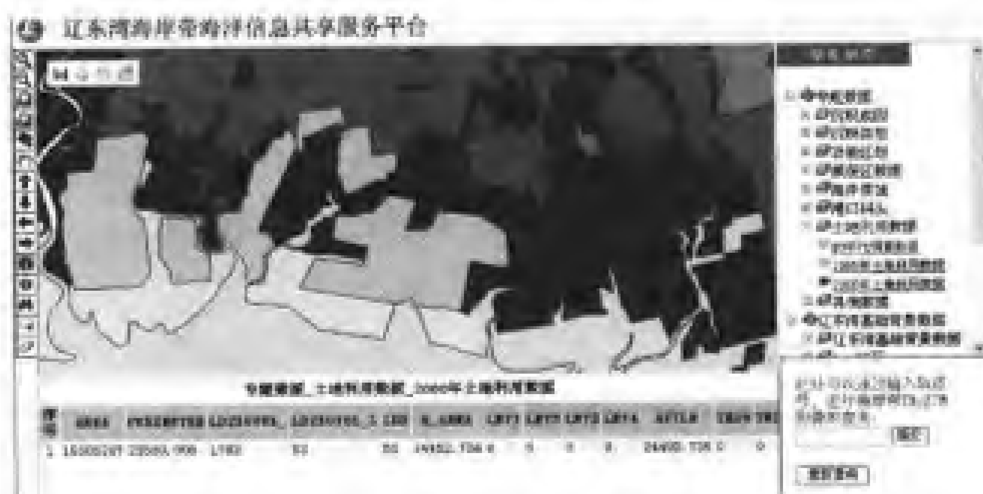


图 16-20　土地利用属性查询

(3)遥感影像图层。点击该主题时,出现遥感影像的类型树。比如,选择 MODIS 数据类型时弹出日历信息表,进而选择任意的日期,进行 MODIS 1 公里的数据浏览。

选择 TM/ETM 时,在全图上添加 TM/ETM 覆盖轨道图层和 1∶10 万分幅图层。当进行轨道图层的属性查询时,高亮度的显示当前所选的轨道号对应的 TM/ETM 的覆盖范围,并同时给出相应的属性信息,根据属性信息中的原始影像浏览图名称信息热链接到影像的浏览图上。如果该轨道号有多景影像,希望同时用不同的颜色显示不同影像的覆盖范围,同样实现热链接。

在网络共享平台上,可以通过遥感影像的轨道号进行查询;通过矩形框进行选择查询、以及模糊查询等方式对数据进行查询,预览。在图 16-21 中,点击 20 带的 TM/ETM 选择框,在图层显示栏中将会出现数据库中所有的 TM/ETM 影像图。通过左边的工具栏可以对这些数据作进一步的选择,查询等工作。如查找 122032 影像的时相、季节、所在省份及其所涉及到的县市,其结果如图 16-22 所示。

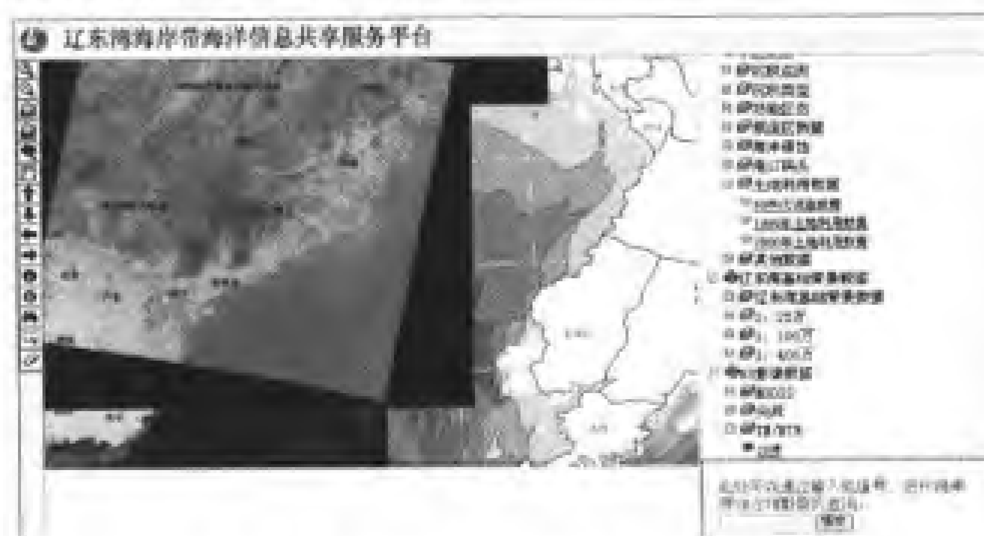


图 16-21　辽东湾海岸带海洋数据平台操作示例



图 16-22　TM/ETM 属性查询结果

（4）海域数据。目前海域数据主要包括温度、盐度、密度以及测站的一些数据。对于这些数据，同样可以进行浏览、查询和检索。

（5）元数据库查询检索。与海岸带及近海空间信息网上服务相关联的还有关于该数据平台的元数据的网上信息查询系统，该部分内容当前基于一般的数据库（Microsoft Access）和动态网页技术进行开发的，类似于图书馆的查询检索系统。

16.5　本章小结

本章通过对海岸带海洋数据的分析，通过 SDE 针对遥感影像和非遥感影像分别建立了各自的数据存储结构。以辽东湾海岸带海洋为例建立了数据库，并在其基础上基于 B/S 结构开发了数据库前端管理系统；另外为了能实现网上信息共享，基于 C/S 结构建立了网上信息共享平台建设。

第17章　数字辽东湾——动力模型与决策支持系统

目前，海洋环境已经成为世界范围内关注的热点之一。辽东湾海域作为我国的内海，由于近年来海洋资源与环境的无序开发造成大量污染物排放入海，导致了海洋环境的严重损害，目前辽东湾正面临着"荒漠化"的威胁。在这种情况下，如何合理规划海域污染物的排放从而达到环境保护的作用，已经成为解决辽东湾海域环境问题的核心，辽东湾海域海洋环境容量的研究已经提上了日程。

本章构成相对完整的一个"数字海洋"的原型系统。数字海洋，包括比较完整的背景数据，具有动力机制，能满足人类的某种需要。由此数字海洋要集成动力模型来驱动"数字海洋"，从而在动态海洋的基础上附加社会管理、规律研究等功能模块。

本章中，将首先介绍相关海洋动力模型、环境模型的原理，然后利用GIS为集成平台研发基于海洋环境模型的环境决策支持系统，在此系统之上，实现对辽东湾污染物排放量的调控研究。

17.1　辽东湾海域环境容量测算的模型研究

为了能够研究辽东湾污染物在海域中的迁移、转化和积存规律，也反映特定功能条件下环境对于污染物的承受能力。在本章中引入了环境容量的概念，并建立了辽东湾的环境容量模型。

17.1.1　环境容量测算

1. 环境容量和海洋环境容量

环境容量，也称同化容量，最大容许纳污量和水体容许纳污水平等。在理论上，环境容量是环境的自然与社会效益参数的多变量函数，它反映污染物在环境中的迁移、转化和积存规律，也反映满足特定功能条件下环境对污染物的承受能力；在实践中，环境容量是环境目标管理的基本依据，是环境的主要约束条件，也是污染物总量控制的关键参数。

"九五"期间，排污控制从浓度控制向浓度控制和总量控制相结合的方向转化。控制污染物排放和合理规划海域功能的使用成为解决排污控制的核心。用环境容量的概念来防止海洋污染，便于控制和规划，在应用中具有良好的发展前景。

海域环境的特殊性，决定了海域污染物排放的总量控制既需要与陆地水污染物总量控制相协调，更需要以海治陆，以海域功能目标和海域环境质量目标为约束条件确定陆源排污总量和排污方式。以此为契机，海洋环境容量的测算和评价正成为一项新的任务。

2. 海洋环境流场数值模拟

海洋环境质量的状况与海洋动力因素密切相关。流是污染物输移扩散的主要动力源。流的模型主要分为两类，一是沿水深积分的二维模型；二是不可压缩的 N－S 方程与封闭它的某种湍流模型相结合的三维模型。目前国际上应用比较广泛的海流（包括温度、盐度）数值模式主要有：GFDL 的 MOM 模式（z 坐标）、普林斯顿大学的 POM 模式（σ 坐标）、迈阿密大学的 MICOM 模式（等密度坐标）、德国的 OPYC 模式（等密面坐标、海冰耦合模式）和汉堡大学的 HAMSOM 模式等等。国内比较知名的模式主要有中科院大气研究所（IAP）的 σ 坐标模式，中国科学院海洋研究所方国洪发展的 z 坐标、σ 坐标、三维原始方程、斜压、自由表面的海洋模式等等。这些模式各有特点，并且都在不断改进中，主要集中于流封闭方法及数值方法的改进以提高精度和计算速度。

国内外对于中国近海的潮汐和潮流的模拟和预报工作也做了很多的工作，从中国北到渤海、南到南海的潮汐潮流都能比较准确地予以模拟。近年来关于渤海、黄海、东海潮波数值模拟的成果更是数不胜数。总的来讲，国内的工作模拟的分潮较少，但模拟的分潮的准确较高。国外的工作，虽有的模拟的分潮较多，但误差一般较大。模拟目前都在向更高分辨率、更高精度的方向发展，并且结合观测资料尤其是卫星遥感资料进行数据同化方面的工作，以提高预报的精度。

污染物环境容量的计算，最常用的数学模型就是对流输运扩散方程。海水盐度、污染物浓度、泥沙容量等变换规律的讨论都离不开对流扩散方程，对流扩散方程也分为二维和三维模型，这类模型的研究更多是建立准确有效的数值求解方法。目前已发展了许多数值计算方法，然而在求解对流占优方程的时候，结果仍然不能令人十分满意，这是因为方程本身的双曲性质，要同时处理好对流扩散过程是十分困难的，数值耗散和数值振荡几乎必占其一。克服这些缺点的最流行方法是迎风格式和修正流格式有限差分方法。另外一个成功的方法是分裂格式方法，分别独立求解对流过程和扩散过程，对流方程用特征线法求解，扩散方程用有限元方法求解。也有用波方程模型求解对流扩散方程的，其主要思想是对流方程不直接求解，而是将对流方程对时间再求导一次变成波动方程，通过求解波动方程等间接地求解对流方程。现在也发展了一些三维数值模型，Lardner 和 Song（1991）对水平对流扩散方程直接求解，垂向对流扩散方程用隐式有限之法求解，对流项的处理是一阶迎风格式。Sommeijer 和 Kok（1995）详细地讨论了差分求解三维对流扩散方程的时间积分技术-龙格库塔法和奇偶线跳点法。Sankaranaragahan（1998）用三阶迎风格式处理对流项来差分解三维对流扩散方程。

辽东湾环境容量测算的技术流程框图如图 17－1 所示，在整个技术流程中，要实现环境容量的测算，涉及到辽东湾海域浅水动力及生态数值模型、辽东湾环境容量及污染源最大强度估算方法、GIS 支持下的辽东湾海域环境容量测算方法等问题的研究。下面就这 3 个大问题作相应的研究。

17.1.2 辽东湾海域浅水动力及生态数值模型

辽东湾海域浅水动力及生态数值模型包括三维海流数值模型、污染物输移扩散沉降模式、多口排污的综合响应技术三个研究部分。

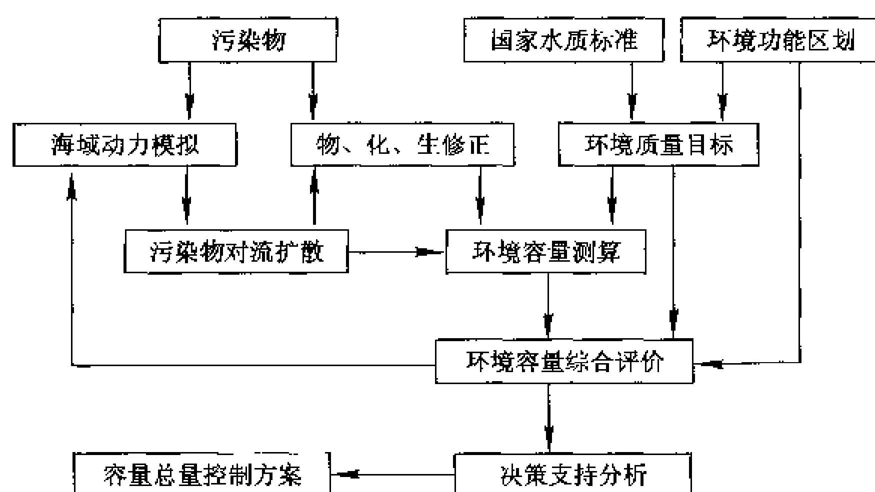


图 17－1　环境容量测算与评价流程图

1. 辽东湾三维海流数值模型研究

海域的环境容量与污染物进入海域的物理、化学和生物过程有关。污染物随海水的流动和与之混合逐渐被稀释以及向外海输送。本研究由尹宝树建立针对辽东湾海域的高空间和时间分辨率的数值模型。该模型应该突出的特点有四个：

第一，空间三维，可以保证对污染物的垂直混合、沉降等过程的模拟，对某些污染物的迁移、扩散和沉降等提供垂直向的计算依据。

第二，多级网格的空间分辨率设置，渤海海区空间分辨率 5′，辽东湾海域小于等于 2′，局部海湾、河口、重点海区可以更细。

第三，多种时间分辨率设置，可以自由调节时间步长，可以从零初始场计算，也可以从某个初始场开始计算。

第四，模型稳健，结果可靠，运行效率高，收敛迅速，有利于和位于前端的辽东湾海域水污染物控制决策支持系统集成，集成后可从某一初始场迭代，直接输出计算结果。该模型同时可以与复杂环境生物化学过程模型相结合，求得更符合实际的环境容量。

为了准确估算辽东湾环境容量，首要任务是建立一个具有高精度、高效率和具有良好稳定性的辽东湾三维数值模式。下面介绍本研究采用的数值模式。

该数值模式采用的是方国洪研究员针对中国海域特点发展的三维 σ 坐标海流模型，该模型在多个海域环境预测与评估项目中应用，得到了很好的结果。

模型采用如下控制方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\vec{V}\cdot\nabla u-fv=-g\frac{\partial(\zeta-\zeta)}{\partial x}+\frac{1}{H^2}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(v\frac{\partial u}{\partial\sigma}\right)+A\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)-g\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(H\int_0^\sigma\frac{\rho}{\rho_0}\mathrm{d}\sigma\right)+\frac{\rho}{\rho_0}\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\partial h}{\partial x}\right)\right] \tag{17-1}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\vec{V}\cdot\nabla v+fu=-g\frac{\partial(\zeta-\zeta)}{\partial y}+\frac{1}{H^2}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(v\frac{\partial v}{\partial\sigma}\right)+A\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-g\left\{\frac{\partial}{\partial y}\left(H\int_0^\sigma\frac{\rho'}{\rho_0}\mathrm{d}\sigma\right)+\frac{\rho'}{\rho_0}\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial y}-\frac{\partial h}{\partial y}\right)\right\} \tag{17-2}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\int_0^1 Hu\,\mathrm{d}\sigma\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\int_0^1 Hv\,\mathrm{d}\sigma\right] \tag{17-3}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\vec{V}\cdot\nabla T=\frac{1}{H^2}\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(K\frac{\partial T}{\partial \sigma}\right)+D_t+F_T \tag{17-4}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t}+\vec{V}\cdot\nabla S=\frac{1}{H^2}\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(K\frac{\partial S}{\partial \sigma}\right)+D_S+F_S \tag{17-5}$$

初始条件取为：

$$\zeta=u=v=w^*=0,\quad T=T_0(x,y,\sigma),\quad S=S_0(x,y,\sigma)\quad 当\ t=0 \tag{17-6}$$

边界条件：

①海面处，即 $\sigma=1$

$$\frac{v}{H}\frac{\partial u}{\partial \sigma}=\tau_w^x(x,y,t),\quad \frac{v}{H}\frac{\partial v}{\partial \sigma}=\tau_w^y(x,y,t) \tag{17-7}$$

其中，τ_w^x，τ_w^y 是海面处风应力的分量。

$$\frac{K}{H}\frac{\partial T}{\partial \sigma}=\frac{Q_T}{\rho_0 C_p},\quad \frac{K}{H}\frac{\partial S}{\partial \sigma}=\frac{e_v-P_s}{\rho_0} \tag{17-8}$$

其中，Q_T 为海面热通量；e_v，P_s 为海面蒸发与降水率；C_p 为海水比热容。

②海底处，即 $\sigma=0$

$$\frac{v}{H}\frac{\partial u}{\partial \sigma}=\tau_b^x(x,y,t),\quad \frac{v}{H}\frac{\partial v}{\partial \sigma}=\tau_b^y(x,y,t) \tag{17-9}$$

其中，τ_b^x，τ_b^y 为海底摩擦分量，写成 r_u，r_v。这里，海底摩擦系数取作：

$r=g/c_z^2\cdot(u^2+v^2)^{1/2}$，即海底摩擦取平方摩擦律，$C_z$ 是 Chezy-Manning 摩擦系数。

对温度 T 与盐度 S，有

$$\frac{\partial S}{\partial \sigma}=0\qquad \frac{\partial T}{\partial \sigma}=0\qquad \sigma=0 \tag{17-10}$$

③开边界条件：在开边界处，给定水位

$$\zeta=\sum_i f_i H_i \cos[\sigma_i t+(V_0+u)_i-g_i] \tag{17-11}$$

其中，σ 为分潮角速度；H 为分潮振幅；g 为分潮迟角；f 为交点因子；t 为时间，从某一初始时间 t_0 作为零开始计算；$v+u-t_0$ 时刻的分潮初位相，其中 u 为交点订正角。由开边界输入(17-11)式的水位条件，可以计算得到海区内部的结果。i 代表分潮，本研究中取10个分潮 $K_1,O_1,P_1,Q_1,M_2,S_2,K_2,N_2,S_a,S_{Sa}$。陆地边界取法向流速为零。

实际计算中将采取粗细嵌套计算，先对整个渤海区域采用粗网格 $5'\times5'$(细网格 $2'\times2'$)计算校验模式，在渤海海峡开边界输入 $K_1,O_1,P_1,Q_1,M_2,S_2,N_2,K_2,S_a,S_{sa}$ 十个分潮；在辽东湾采用更细的网格；开边界粗网格计算的输出值作为辽东湾细网格的开边界值。

2. 污染物的物理和生态模式的建立

在辽东湾海域三维海流数值模型研究的基础上，开展污染物输移、扩散、沉降物理模式和降阶、生物、化学过程生态模式的研究。物理模式一般是基于水动力学的输移扩散方程进行的。这里将采用三维的输移、扩散、沉降模式进行数值求解。然后用拉格朗日

水团追踪法，计算污染物的拉格朗日流场。根据环境功能区给出的排污强度，可以由流场模式和污染物输移、扩散、沉降模式计算出污染物输移扩散分布。生态模式针对不同的污染物，我们采用不同的研究方法，其原则是：考虑污染物的主要生化过程，忽略不确定的因素。

1)COD 生态模式的建立

目前国内关于 COD 环境容量的计算基本上还是沿袭传统的保守物质的计算模式，实践证明，由此获得计算结果基本上是偏安全的；但是另一方面求得的浓度值也是偏大的。显然在国民经济迅猛发展的今天，以往比较粗糙的计算模式已经不适应对海洋资源的开发利用的现状。所以我们采用非保守的计算模式，以便更好地模拟污染物在海水中的物理、化学和生物过程。

设污染物浓度为 ϕ，则输移、扩散、沉降模式为：

$$\frac{\partial\phi}{\partial t}+\frac{\partial(u\phi)}{\partial x}+\frac{\partial(v\phi)}{\partial y}+\frac{\partial(w^{*}\phi)}{H\partial\sigma}=D\left(\frac{\partial^{2}\phi}{\partial x^{2}}+\frac{\partial^{2}\phi}{\partial y^{2}}\right)+\frac{1}{H}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(k\frac{\partial\phi}{H\partial\sigma}\right)+S+S_{b} \tag{17-12}$$

上式中，u、v、w^{*} 分别为 x,y,σ 方向的流速分量；$H\equiv h+\zeta$，D，K 为水平和垂直方向涡流扩散系数；S 为污染源强度；S_{b} 为污染物质的降阶项。

非保守污染物在海水要经历一系列理化过程：沉淀、降解、生物摄取、絮凝等。从而导致非保守物质的浓度总是低于保守物质。对于稳定状态时非保守污染物的浓度用如下方法估算。假设非保守物质具有一级降阶速度，其浓度降阶表示为：

$$S_{b}=S_{b0}\,\mathrm{e}^{-kt}$$

式中：S_{b0} 为污染物初始稀释浓度；k 为降阶速率(常数)。

降阶速率与温度有密切关系，下面为降阶速率的温度修正式：

$$k_{t}=k_{20}Q^{T-20}$$

式中：k_{t} 为温度为 T 时的降阶速率；Q 为常数，通常取 1.03～1.05；k_{20} 为温度为 20℃时的降阶速率，通常由实验室实验确定。

2)N、P 营养盐生态模式的建立

海洋中的生物和化学过程与物理过程最明显的不同之处在于能量转变过程的时空差异性和多样性。生物的多样性以及生物量之间的相互作用的性质决定了生物模型的复杂性。

在海洋生态环境中，自养浮游植物的生长除直接受到光合作用控制外，还受到多种营养盐浓度的限制。就某种营养盐而言，它对不同的浮游植物的限制过程也存在着明显的差异。虽然将这些过程从数学上表达出来并不困难，但由于缺少控制各种浮游植物生长的资料，所以盲目地追求生物过程的多样性和完整性不利于我们对生态动力系统基本性质的了解；而且就生态系统动力学角度而论，为了追求系统的完整性而盲目增加生物状态变量还会严重地降低模型的可信度。因此，人们通常基于生态动力学的考虑将这些自养浮游植物归于一个整体，用一个变量函数表示。虽然这种近似不适于描述生物的多样性，但它有助于通过简单的数学方程组理解物理和生物之间相互作用的最基本性质。

由此本研究采用营养盐—自养浮游植物模型(NP 模型)研究氮、磷在海水中的生化

过程。在这个模型所描述的生态系统中，浮游植物的生长直接取决于光合作用并受制于营养盐的限制。浮游植物的自然死亡量通过营养盐的再生产循环过程迅速地转化为营养盐。这种省略了碎屑分解过程的模型实际上相当于假设碎屑的营养盐的分解速率比碎屑生物量自身的变化率快，以营养盐的再生产循环论而言，碎屑分解过程在动力学意义上可忽略不计。

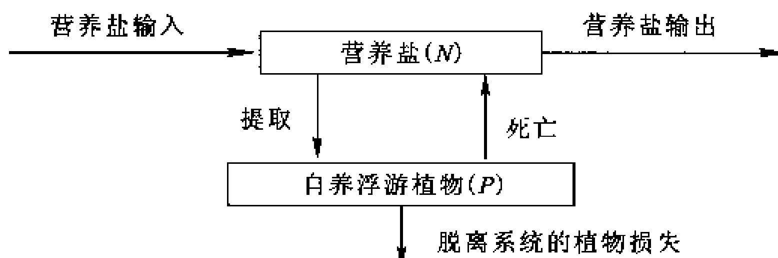


图 17-2　营养盐和浮游植物之间生物通量的示意图

考虑辽东湾这一三维半封闭的生态系统，令 P 和 N 分别表示该系统内自养浮游植物的生物量和营养盐的浓度，N_f 为由物理过程输入系统的营养盐通量，γ_N 为由物理过程所携出系统的营养盐率。描述该生态系统的营养盐—自养浮游植物模型满足 Michaelis-Menten 摄取率公式的数学表达式为：

$$\frac{dN}{dt}=-f(I)\frac{V_m N}{K_N+N}P+N_f-\gamma_N N+\varepsilon_P$$
$$\frac{dP}{dt}=f(I)\frac{V_m N}{K_N+N}P-(\varepsilon_P+\gamma_P)P \tag{17-13}$$

其中：V_m 为浮游植物的最大生长率；k_N 为营养盐摄取过程的半饱和浓度；$f(I)$为控制浮游植物光合作用光强度的影响函数；ε_P 为浮游植物的死亡率；γ_P 为脱离系统的浮游植物的损耗率，包括被浮游动物所摄食以及其他非生物过程所导致的浮游植物生物量的减少。

令 $dN/dt=dP/dt=0$，可求出方程组(17-13)的定常解为：

$$N_S=\frac{K_N(\varepsilon_P+\gamma_P)}{f(I)V_m-\varepsilon_P-\gamma_P}$$
$$P_S=\frac{(N_f-\gamma_N N_S)(K_N+N_S)}{(V_m f(I)-\varepsilon_P)N_S-\varepsilon_P K_N} \tag{17-14}$$

以上表达式反映了该生态模式定常解的如下性质。

性质一：定常状态下系统中的营养盐浓度与流入和流出的营养盐通量无关。

性质二：在各生物参数确定的条件下，定常状态的浮游植物生物量 P_S 与输入系统内营养盐通量 N_f 成线性递增关系。

以上两个性质说明，当系统中的营养盐和浮游植物达到定常状态时，流入该系统的净营养盐通量将全部被浮游植物所摄取，系统中营养盐的超量增加必然导致浮游植物的水华。

性质三：定常状态下 P_S 和 N_S 满足如下关系。

当流入和流出系统的营养盐通量相等时，即 $N_f=\gamma_N N_S$，$P_S=0$；系统内营养盐的唯

一来源是由浮游植物死亡后的营养盐再生产。

当 $N_S=\frac{K_N\varepsilon_P}{f(I)V_m-\varepsilon_P}$，$P_S$ 趋于无穷大；只要流入系统内的净营养盐通量不等于零，那么浮游植物的生物量将无限制的增长。

只有定常状态时，即 $N_S=\frac{K_N(\varepsilon_P+\gamma_P)}{f(I)V_m-\varepsilon_P-\gamma_P}$，$\frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}t}=0$。浮游植物所需的 N 随流出的浮游植物的损失率的降低而减少。

性质四，当 $V_m<(\varepsilon_P+\gamma_P)/f(I)$ 或 $N_S>N_f/\gamma_N$，即 $\frac{K_N(\varepsilon_P+\gamma_P)}{f(I)V_m-\varepsilon_P-\gamma_P}>\frac{N_f}{\gamma_N}$ 时，N_S 和 P_S 均为负值。

无论系统中 N_S 的含量有多高，只要浮游植物的最大生长率小于浮游植物的死亡率和流出系统的损失率之和，则浮游植物必然灭亡；同样，当系统中营养盐流出通量大于流入通量时，浮游植物也无法生存。

NP 生态模型的稳定性分析——小扰动($N'P'$)分析法：

将 $N=N_S+N'$，$P=P_S+P'$ 带入方程组(18－13)，略去高阶小量，整理得到

$$\begin{aligned}\frac{\mathrm{d}N'}{\mathrm{d}t}&=-\left[f(I)\frac{V_mK_NP_S}{(K_N+N_S)^2}+\gamma_N\right]N'-\gamma_PP'\\\frac{\mathrm{d}P'}{\mathrm{d}t}&=f(I)\frac{V_mK_N}{(K_N+N_S)^2}P_SN'\end{aligned}\tag{17－15}$$

该方程组的特征值 λ 满足下列特征方程

$$\begin{vmatrix}-\gamma_N+f(I)\frac{V_mK_NP_S}{(K_N+N_S)^2}-\lambda & -\gamma_P\\\frac{f(I)V_mK_NP_S}{(K_N+N_S)^2} & -\lambda\end{vmatrix}=0\tag{17－16}$$

令 $\rho=f(I)V_mK_NP_S/(K_N+N_S)^2$，将上式展开，可得到

$$\lambda^2+(\gamma_N+\rho)\lambda+\gamma_P\rho=0\tag{17－17}$$

二阶线性方程(6.30)存在着如下两个解

$$\lambda_{1,2}=\frac{1}{2}\left[-(\gamma_N+\rho)\pm\sqrt{(\gamma_N+\rho)^2-4\gamma_P\rho}\right]$$

通过对上述解的分析，可以看出无论哪种情况，NP 生态模型都是局部稳定的。

3. *多口排污的浓度计算方法*

实际海洋的排污情况，几乎都是多口排污，多口排污的浓度计算结果，直接影响决策支持系统的输入。因为若无法区分污染物质的来源，则谈不上有效地分配环境容量。

对于一个含污染源的区域而言，其污染物质稳定存留总量中，既有本区域污染源所排放的，也有其他区域的污染源所排放的；而对于不含污染源的区域来说，其污染物质稳定存留量只能是该区域以外的污染源所排放的污染物质在其内稳定存留量的总和。因此，需要将任意区域内污染物质稳定存留量，按污染源进行分解。逻辑分析认为，在多个污染源排污形成的动态稳定场中，各污染源的排污在任一确定区域内的贡献应该是确定的。

对于由多个排放源同时排放的污染物质来说，在潮作用下所形成的稳定扩散场中任

何有限区域内，来自各排放源的各种污染物质的存留量总和是确定不变的，该分配应遵循物理学叠加原理。设扩散场有 n 个污染物质的排放源，依排放源划分出 n 个独立的区域。划分的原则是，每个区域必须含有一个污染物质排放源，而且只能含一个污染物质的排放源，区域间最多是边界相依，不允许内部有公共部分。这样就得到了满足上述限制的 n 个有源区域。

考虑这 n 个有源区域构成的系统，对该 n 个有源区域给予确定的编号。这样，对于每一个区域排放源而言，其排放的污染物质，经稀释、移运、扩散过程，在这 n 个区域中都有稳定的存留量。因此，n 个污染物质排放源就应有 $n\times n$ 个稳定存留量。

定义矩阵：

$$M=\begin{pmatrix} M_{11} & \cdots & M_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ M_{n1} & \cdots & M_{nn} \end{pmatrix} \tag{17-18}$$

为稳定存留量分配矩阵。其中，矩阵元素 M_{ij} 表示的是第 j 个污染物排放源所排放的污染物质在第 i 个区域的存留量。基于该矩阵可以得出：

(1)基于该矩阵定义由区外输入率、区内输出率及分别在输入和输出意义下的影响因子，这些参数均由矩阵中的元素导出，可作为判断各有源区排污互致影响程度大小的判据。

(2)基于稳定存留量分配特征矩阵的污染物质环境容量表达：将扩散稳态分配理论的基本参量，引入环境容量的表达式，给出其他污染源区影响的最一般的污染物质环境容量的表达式，将环境容量的概念推广应用到任意形状的有污染源的区域，使海洋环境有效、合理利用的定量研究成为可能。

(3)导出了有 n 个方程，$2n$ 个未知数的方程组，其中 n 个未知数是 n 个污染源的拟增排倍数，另外 n 个未知数为 n 个区域的剩余环境容量。各污染源区的有效控制方案的规范化求法，即对上述含 $2n$ 个未知数的 n 个方程求优化解；求解的约束条件是按各个有源区的水质要求确定的。

17.1.3 辽东湾环境容量及污染源最大强度估算方法

根据上述辽东湾海流数值模式和污染物输移扩散模式及生态模式结果，可以计算当前时间下，每个功能海区的环境容量。对于一个封闭的海域，环境容量由总的海水负荷量求出，环境容量等于水体总体积乘以最大允许浓度和污染物现有浓度之差，从简单的稳态箱式模型出发进行计算，根据具体的要求补充需要进行修正的部分。对于一个开放的体系，环境容量等于封闭体系的容量加上在稳态条件下污染物质向相邻系统输出的量以及海水生物自净过程(本研究主要考虑营养盐-自养浮游植物的互相影响)导致的污染物的消减量三者之和。在这个计算中需要注意建立起质量平衡模式，以精细的网格作为计算单元。

除了生物自净外，研究区域与相邻区域之间的海水交换也直接决定了水体环境容量的大小，因此研究海水的净交换问题，对于海洋环境的保护具有重要意义。研究水交换的方法主要有两种：直接观测和数值计算。本研究采用数值方法，此方法基于水质点运

动的物理机制，通过对标识水质点在一个完整的潮周期内的拉各朗日运动的跟踪计算可以发现，由于潮流振幅和迟角空间分布的不均匀性，导致相邻水体之间剪切运动从而使得相邻水体发生交换。此外，潮余环流在水交换过程中也起着重要作用，它使水体产生净输运。从而说明，海水交换的主要部分不是由湍流引起的，而是由潮流的动力过程引起的。

本研究利用 Euler-Lagrange 方法来研究相邻水体之间的水交换。首先通过数值求解浅水潮波方程来求得海域内 Euler 意义的潮流场，然后根据 Euler 流场来计算各个标识质点的 Lagrange 运动。

假设一个标识质点在 t_0时刻的初始位置$\vec{R}_0$，于时刻 t 运动到新的位置$\vec{R}=\vec{R}_0+\Delta R$，那么在质点运动的轨道上，它的拉各朗日速度$\vec{U}_l(\vec{R}(\vec{R}_0,t)t)$与欧拉速度$\vec{U}(R\vec{R},t)$等同：

$$\begin{aligned}&\vec{U}_l(\vec{R}(\vec{R}_0,t)t)=\vec{U}(\vec{R},t)\\&\vec{R}(\vec{R}_0,t)=\vec{R}_0+\int_0^t \vec{u}(\vec{R}_0,t')\mathrm{d}t'\end{aligned} \tag{17-19}$$

标识点的新速度取决于速度场的空间梯度 $\nabla_H\ \vec{U}$。若 $\Delta\vec{R}_0$ 很小，可以用

$$\Delta\vec{R}=\int_0^t \vec{u}(\vec{R}_0,t')\mathrm{d}t'$$

来逼近，然后给出标识质点的新位置：

$$\begin{aligned}\vec{R}(\vec{R}_0,t)&=\vec{R}_0+\int_0^t \vec{u}(\vec{R}_0,t')\mathrm{d}t'\\&=\vec{R}_0+\int_0^t\left\{\vec{u}(\vec{R}_0,t')+\int_0^t \vec{u}(\vec{R}_0,t')\cdot\nabla_H\quad \vec{u}(\vec{R}_0,t')\right\}\mathrm{d}t'\end{aligned} \tag{17-20}$$

由此，便可以依据欧拉流场来计算各个标识质点的运动轨迹。式(17－20)表明，标识质点的拉各朗日运动具有如下特点：①质点的运动与质点投放的初始时刻有关；②质点的运动与质点投放的初始位置有关。

在利用式(17－20)进行水交换计算时，首先用一条假想的分界线将考查的水体与其相邻的水体隔开，并将考察的水体分为许多水柱微元，使每个水柱微元足够小，以致每个微元可视为一个标识质点。于是可用式(17－20)来计算这些标识质点的运动轨迹。如果有标识质点在运动过程中穿越界线，则意味着水体发生了水交换。统计越界标识质点的数量，便可估算水体的交换量。

通过上面的分析，可以定义潮周期内某一水体(界限内的)与相邻水体(界限外的)净交换率：

$$R=V_{出}/V_{总}\times 100\%$$

其中，R 代表交换率，$V_{总}$ 代表所划定的水域的总体积，$V_{出}$ 代表一个潮周期内流出水域的净体积。

考虑到水质点的拉各朗日运动是投放初始时刻的函数，因此在实际计算过程中，将一个潮周期内，不同特征时刻作为初始时刻获得的相应结果的平均值作为一个潮周期内的平均交换率。它反映了水体与外界交换的平均状态。

一个水域的水交换能力反映了该水体的输运能量的大小。在湾口边界处某污染物

浓度已知的条件下，根据水交换量即可估算水动力因素将湾内污染物向湾外输运的总量，进而可以求得该水域总的环境容量。

把在当前海域污染负荷情况下求得的浓度分布与标准水质分布进行比较，会得到三种情况：

第一，如果计算的浓度分布已经有部分海域达到了水质标准，尽管大部分海域尚未达到，说明目前的污染负荷已达到了允许排放的最大负荷。

第二，如果计算的浓度分布已经有部分海域超过了水质标准，说明当前的污染负荷已超过了允许的负荷量。在这种情况下必须削减污染负荷。应削减负荷量的大小可由本模型算出。

第三，如果计算的浓度普遍低于水质标准，说明当前水质状况良好，有能力承受一定的污染负荷，尚可以承受多大的污染负荷可以由本模型计算求出。

17.1.4 GIS 支持下的辽东湾海域环境容量测算方法

首先对本项工作所涉及的有关环境容量的几个基本概念进行定义。

1)关键传播途径分析及沉积过程分析

对于一般保守性污染物的传播途径，基本上是以海域动力条件为主导的，通常的海洋环境数值模式也都是以此为主要研究内容。这里不在赘述，由于我们需要考虑沉积过程，因此着重补充沉积过程分析框图 17－3。

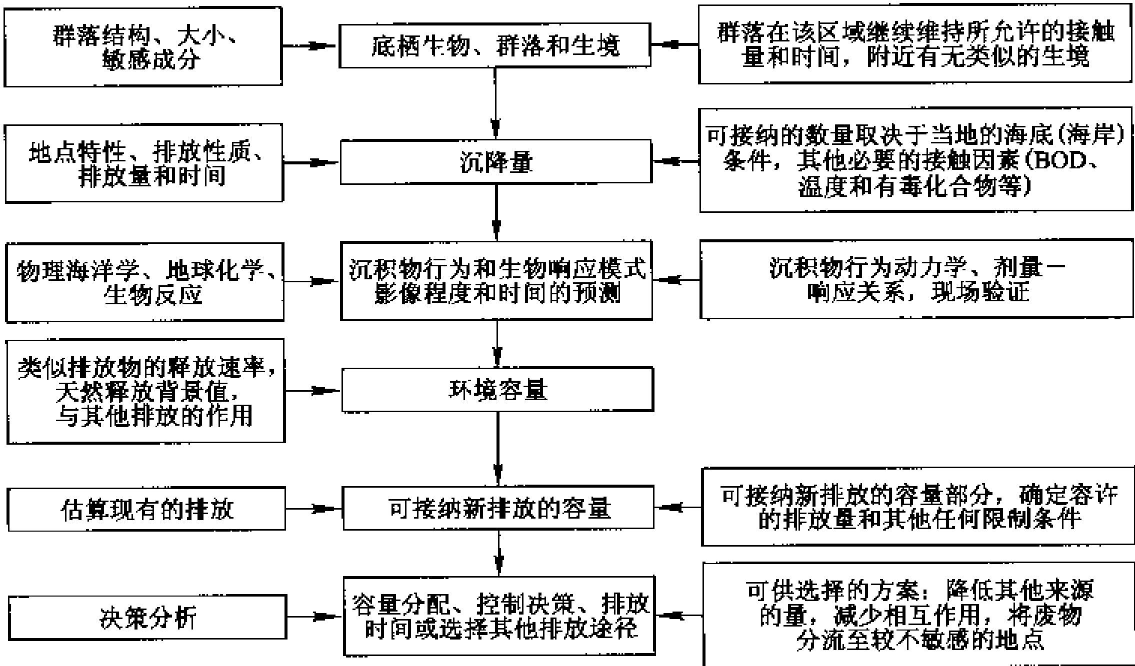


图 17－3　沉积过程分析

2)GIS 支持下的环境容量估算

把上面建立的辽东湾环境容量估算模型输入到地理信息系统，即可建立起 GIS 支持下的环境容量估算系统。

3)GIS 支持下的多口排污的浓度计算方法

采用两种思路研究计算有多个陆源排污情况下的海域污染物浓度指标和环境容量。第一种是响应系数线性叠加法;第二种是浓度场基函数法。

响应系数线性叠加法:一般来说,在海区环境动力条件不变的情况下,还与水质对污染源强的响应是相对固定的,处于一种动态平衡状态。假设不同污染物之间、不同排污口之间都是相对独立的,则根据简单线性叠加原理,在浓度场计算中各个单个点源单独作用下计算的浓度场相叠加的结果与所有点源共同作用下计算的浓度场相同;某一个单个源强,可以分解为若干个单位源强的线性组合。即某一源强作用条件下求得的浓度场的叠加(图 17-4)。

在输出辽东湾海流场的计算结果后,海域的水质即污染物浓度仅取决于排放源的性质(污染源点的空间位置,排放强度和化学组成等)。即海域平衡浓度场是海洋水体对污染源的响应,并认为这种响应关系是线性关系。根据上述原理构建海区的响应系数矩阵,结合线性规划模型或马尔可夫模型、海洋 GIS 技术,得到海域内多口排污的综合衡量和计算方法。

基于 GIS 的响应系数法如图 17-5。需要补充地形等基础参数,海洋环境功能区划,计算的响应系数场,排污口分布信息等。

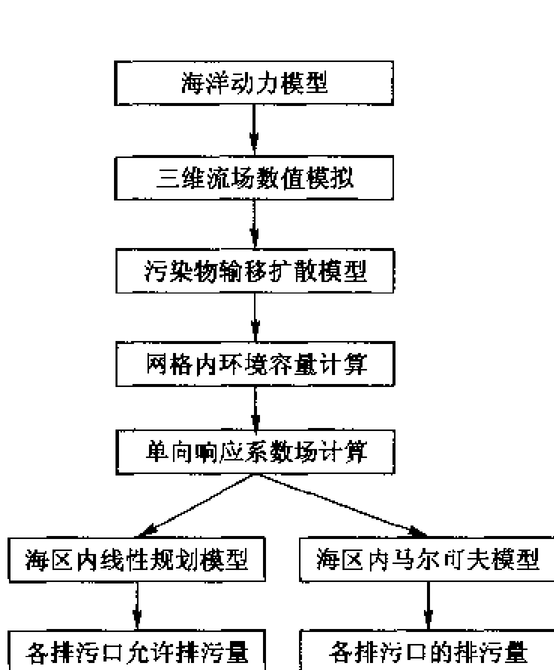


图 17-4 响应系统叠加法计算流程

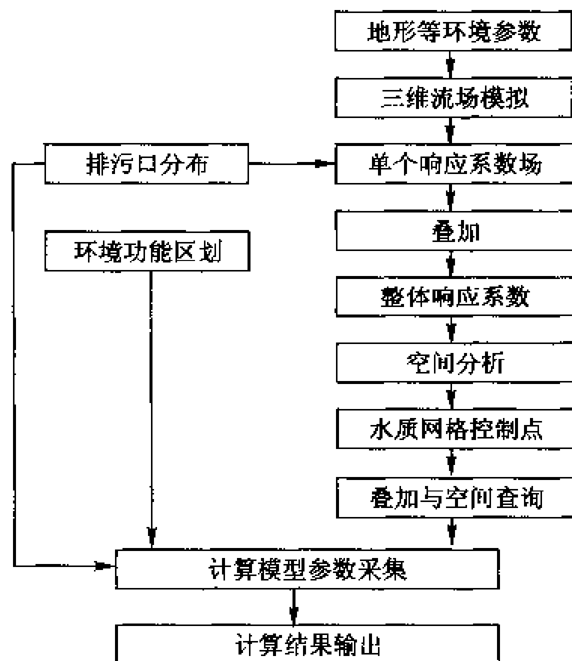


图 17-5 基于 GIS 的响应系数法模型流程

浓度场基函数法:从污染物的输移、扩散、沉降模式出发,提出与排放源强无关的浓度场基函数 $f_i(t,x,y)$ 的概念及其定解问题:

$$\frac{\partial f_i}{\partial t}+\frac{\partial(uf_i)}{\partial x}+\frac{\partial(vf_i)}{\partial y}+\frac{\partial(w^* f_i)}{H\partial\sigma}=D\left(\frac{\partial^2 f_i}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 f_i}{\partial y^2}\right)+\frac{1}{H}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(k\frac{\partial f_i}{H\partial\sigma}\right)+S_i+S_{bi}f_i+l_i$$

固定边界条件:$\left|\frac{\partial f_i}{\partial n}\right|_g=0$

无穷远处边界条件：$f_i|_{\infty}=0$

初始条件：$f_i|_{t=0}=0$

式中，l_i 与各排放口源强无关。从而导出水质浓度场与各排污口源强和基函数间的多元线性函数关系：

$$C(t,x,y,M_1,M_2,\cdots,M_N)=\sum_{i=1}^{N}M_i f_i(t,x,y)$$

通过该方法只需要对每个排污口一次求解对流扩散方程，就可以方便、快速地计算各种排放口源强组合下的污染物质浓度，而不必像以前的方法一样，对每种源强组合反复求解对流扩散方程。这样大大的减少了计算量，适合与水污染物控制决策支持系统进行紧密集成。

4)环境容量评价和决策支持系统技术

将环境容量测算和评价应用到评价污染物对海洋环境影响的方法见图 17－6，由三个阶段组成：规划阶段，科学评价阶段，监测和修改阶段。通过如下技术流程，将科学和社会-经济因素看作两种互相平行、互相影响又互相补充的活动。它强调科学评价的客观性和独立性，同时也强调它们在社会-经济可行性决策中的影响。

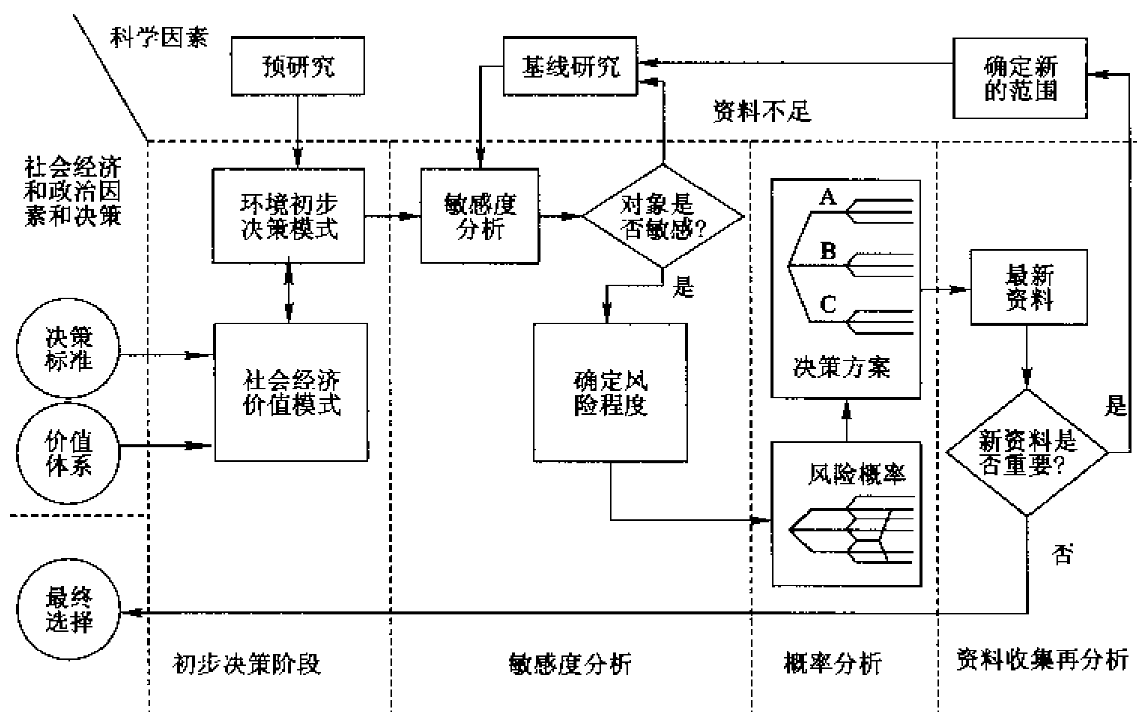


图 17－6　基于概率的海洋环境容量决策支持流程

在规划阶段，由社会-经济目标启动开发利用资源活动，在判断现有的和将来的资源状况时需要进行科学评价。在第二个阶段，评价过程的核心是将确定的环境质量目标转变成最大允许排入量。这样的工作中总是包含不确定性，需要根据经验作近似处理。最后一个阶段，也是最重要的阶段是进行监测和修改。监测能检验环境容量是否平衡，据此可以作出开发活动的取舍，以及利用价值规律进行调节。

海洋环境容量评价方法是建立在科学研究及其提供的数据基础上的，根据定义，对

不同地点和不同污染物，其环境容量的评价方法也各不相同。环境容量评价是分阶段进行的，初步评价可以用近似的方法进行，例如用单箱模型和简单的质量平衡模型进行；当时间尺度较大时，可做稳态假设而取其平均值。数据积累越多，对传输过程和转化过程的了解就越深入，环境容量的测算也会更准确。所获得的结果就可以用于制定与环境相容的发展规划和项目的实施。在进行这项工作时，我们强调一定要进行环境容量测算的检验工作，将现有的大量数据分开：一部分数据用于环境容量测算，另一部分数据进行再评价，如果有更新的监测数据，则用于再评价的效果更好。这种检验工作也是一项必不可少的工作，可以有效地避免失误，并且是对控制措施进行精细调节的重要手段，使其更灵活、更好地适应各种不同的海洋环境条件。

海洋环境容量决策支持系统技术包括分析保守性和非保守性污染物的关键传播途径，确定环境质量和水质质量目标，建立基准和标准，在此基础上进行环境容量的计算和评估。在实际情况中，不可避免地会碰到各种各样的不确定性，因此本工作用概率统计方法替代简单的定量分析方法。

国家海水水质标准采用《中华人民共和国海水水质标准》(GB3097—82)。配合环境功能区划分，可以确定环境质量和水质质量目标，从而建立环境容量计算的基准和标准。例如，通常情况下，辽东湾环境功能区划中，二类海水环境功能区应符合国家Ⅰ类海水水质标准，三类和四类功能区的水质应符合国家Ⅱ类海水水质标准，五类环境功能区允许水质为Ⅲ类海水。

17.1.5 环境容量控制区划分及模型初始条件设定

1. 环境容量控制区划分

根据辽东湾区域的环境管理，国家环保总局(2000)对排污总量控制区进行划分，对整个区域排污控制分成4个控制带，即上游流域控制带，沿海陆域控制带，近岸海域控制带和渤海中部海域(参见图17-7)。



图17-7 辽东湾流域控制区划控制断面分布图

在各个控制带内的控制区的划分：

(1)上游流域控制带：汇入辽东湾的4个水系为辽东半岛诸河水系、辽河水系、辽西沿海诸河水系、滦河水系，其中辽东半岛诸河水系、辽西沿海诸河水系、滦河水系为省内或基本上是省内水系，辽河水系为跨省水系，参见图17-8。该控制带按上游河流水系划分上游控制区，控制单元及相应的控制断面。设置该控制带的重点是监控上游点源、非点源对海岸带区域的影响，向上游行政区提出治理建议及要求。

(2)近岸海域控制带：该控制带内的控制区考虑海域特点，并划分控制单元，各单元的水质目标由控制单元内的近岸海域环境功能区确定，参见图17-8；重点控制单元以城市(市区)毗邻海域、重点海口、重要渔业水域、交通密集的重要水道以及港口、航道、锚地水域、自然保护区及其他重点保护水域为主；主要控制对象是富营养化及油类污染。在

主要污染源入海口附近海域设置控制点，监控河口污染状况及混合区的范围，入海河流及各类排放口位置图见图 17－9。

图 17－8　辽东湾海域功能区划与监测点位图

图 17－9　辽东湾四类排放口入海位置图

(3)辽东湾中部海域：具体控制区的划分，按开发利用情况确定。

全海区共划分出若干个控制单元，每个控制单元含一个或多个环境功能区，划分原则主要考虑重点点源（或点源群）的影响区域，以及行政管理上的方便。控制带的控制单元的划分参见图 17－10。

图 17－10　辽东湾海岸带控制区划图

2. 模型初始条件设定

在模拟过程中，参数及其边界条件的处理如下。

(1)计算域的生成，采用固定边界。根据潮流最低潮时仍有水位的等深线（海图 0 m 等深线）范围确定计算区域的范围，并形成 GIS 图层。如果选取的 0 m 等深线不连续，还应选取其他的特征线（如海岸线、岛屿等）进行连接，使选取的线性要素组成一个封闭的多边形，同时将水域和陆地多边形赋予不同的属性。

(2)计算网格（图层）的生成：采用正交矩形网格有限差分法。正交矩形网格的生成是以计算域范围为边界确定一定的矩形边长，采用交互的方式确定 x、y 方向上的网格数，完成对研究区域的网格划分，然后再根据网格变量配置交互地确定计算网格，并形成 GIS 图层。

(3)水深参数（图层）的获取：将扫描后的海图进行等深线的矢量化，并利用 GIS 的数字高程模型（DEM）功能将等深线通过点插值方法（线性内插）获得与模型网格相匹配的 DEM 数字高程模型，这样就得到了数值模拟所需的具有栅格结构的计算海域水深数据图层。

(4)初始条件的确定：格网产生以后，必须给各个计算单元赋初始状态，包括初始污染浓度、初始水位及 x、y、z 方向上的初始流速等。对于潮流模拟，由于其模拟的最终结果与初始条件无关，初始条件仅影响计算收敛和稳定的时间，并不影响流场和水位的精

度，因此，在初始时刻，除开边界上赋予强迫水位外，可假定整个流场处于静止状态。对于污染扩散模拟，除污染源位置点外，整个扩散场的初始浓度均为0。

(5)边界条件的确定：边界条件的定义是建模过程的一个重要环节。边界条件定义正确与否对模型的计算影响很大。根据水力学的边界条件定义，边界条件可分为内(闭)边界条件和外(开)边界条件。潮流场模拟中，在计算水域与陆地交界的闭边界上，取法线流速为零。对于采用固定边界的闭边界上的网格要通过0m等深线邻近的水深点，这样才能满足闭边界上的流速0。计算闭边界邻近点的流速时，设边界以外点的流速值为0。计算水域与外海相通的开边界上，在计算开边界内流速时，要用到开边界外侧点流速，其处理方法可假设开边界线两侧的流速相等。开边界上采用强迫水位，其控制方程根据海湾的潮汐性质而定。

17.2 辽东湾环境容量决策系统设计与开发

在建立了环境模型以后，如何完成模型和GIS的集成，使其发挥各自的优点，是一个需要解决的问题；另外，如何建立为研究者或决策人员提供信息的决策支持系统也是迫切需要解决的问题。在这一节里，将从GIS与模型集成以及决策支持系统建立两个方面进行探讨。

17.2.1 系统集成建设

环境模型建模的本质就是将特定层次和时空范围的环境系统运动，用定量的方法加以描述刻画和模拟优化。传统的环境建模在空间数据操作，特别是结果的显示表达方面仍存在较大的困难，可操作性较差。GIS在环境建模中的空间数据输入、空间数据分析和管理、结果可视化、系统界面等方面具有很强优势，特别适合非计算机背景人员使用。GIS与模型系统集成建设的目的是实现从环境信息的采集、处理、分析、存储、评价、预测、决策和管理的智能化，一方面为海洋研究提供一种GIS与模型集成的方式；另一方面，使环境管理部门及时了解和掌握海域环境质量状况、变化趋势，发现潜在的环境问题，为海洋开发决策、海洋环境管理和辽东湾整治行动计划的实施提供科学依据。

GIS支持下的环境建模，随建模的目标、模型的类型和功能不同而有相当大的差异，其中环境预测模型的建立和应用是环境建模的主体和难点，也最能体现时空复合建模的特点。

在本研究中，GIS与环境模型的集成是在GIS技术的支持下，利用GIS具有的对空间数据及非空间数据的获取、存储、分析和显示等功能，建立环境容量测算动力模型，进行GIS支持下的污染扩散数值模拟、分析和表达，提供科学准确的应急反应预测信息，从而实现控制、减少、清除污染等。在建设过程中，包括应用正反决策(见图17-11)对辽东湾的环境容量进行评价，一方面，可以通过对排污口污染物排放量的模拟来进行超标区域的提出与显示；另一方面，可以通过各个功能区海洋水质标准，结合海洋动力模型，可以推算出各个排污口污染物允许排放量。这样可以更好地实现对辽东湾海域的环境容

量控制，控制污染物排放量，减少海域污染，从而为改善辽东湾的生态环境作出应有的贡献。

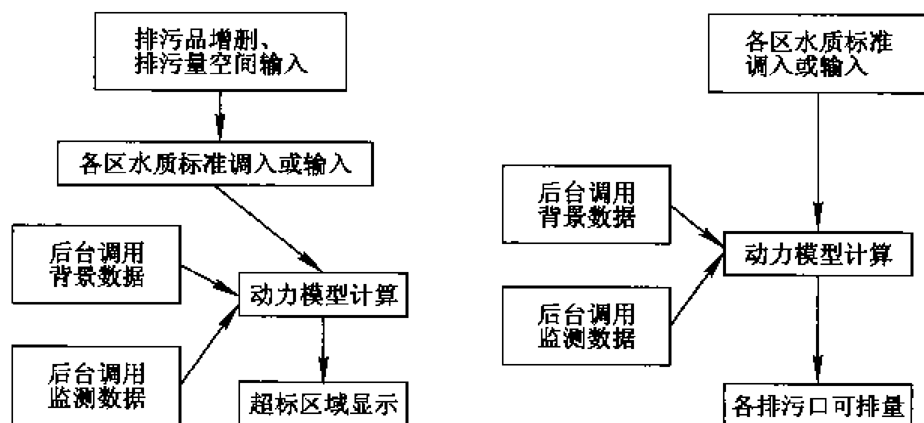


图 17-11　正、反决策流程示意图

在环境模型与GIS集成并建立决策支持系统的过程中，建立的一般步骤如图 17-12。在实际的建设过程中，就是遵照这样的步骤来进行辽东湾环境容量决策支持系统建设的。

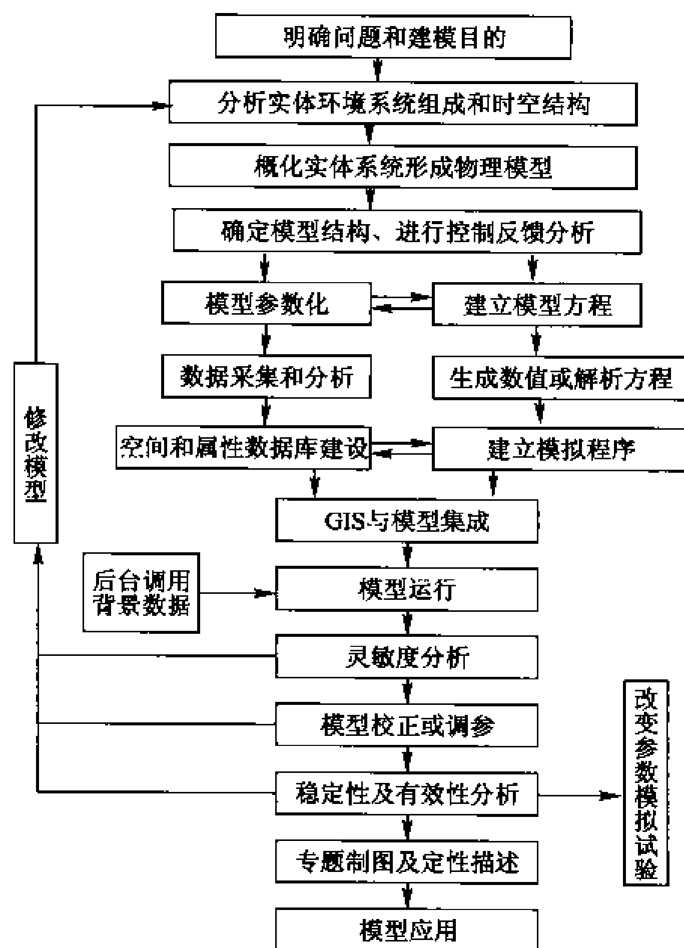


图 17-12　决策支持系统构建的一般步骤框图

当前环境模型与GIS集成的三种方式(松散耦合、紧密集成、完全集成)中,完全集成模式实际上是一种理想模式,目前的集成模式主要还是前两者。在本研究中,集成采用嵌入式紧密集成,它同时利用面向对象的开放式开发环境、动态链接以及GIS组件技术,不需从底层数据结构开始来实现与模型的紧密集成,只要通过各种开放式的嵌入机制和透明的数据交换来实现与模型的集成。这种集成模式的特点是:环境建模可以利用高级面向对象的编程语言,如Visual Basic、Visual C++或其他适合数值计算的语言进行,而不是依赖GIS提供的各种宏语言,开发的模型可以以动态库方式嵌入到GIS集成环境中,并且可以自然地实现模型与数据的分离,本研究应用Visual Basic语言与ArcObject相结合进行了集成开发,具体的集成框架可见图17-13。

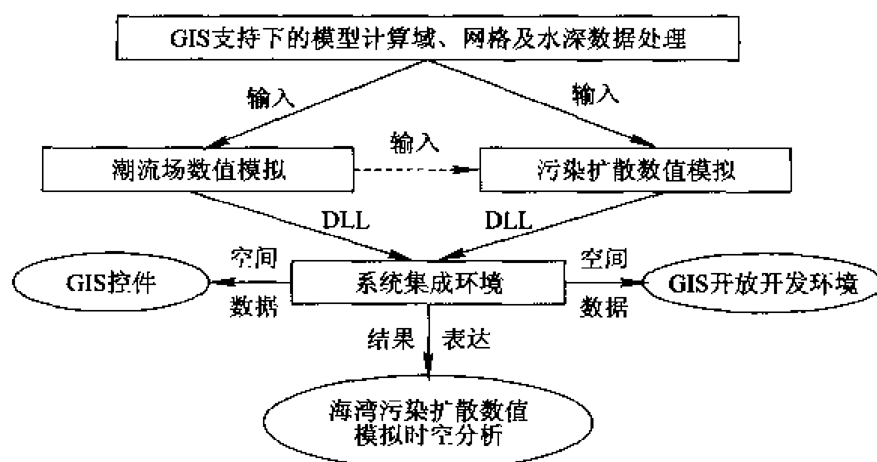


图17-13　污染扩散数值模型与GIS紧密集成框架

17.2.2　决策支持系统功能设计

辽东湾环境容量决策支持系统主要能完成三方面的工作。一方面,可以通过各个排污口污染物的排放量对海域污染状况进行模拟,分析海域是否污染物含量超标,给出相应的模拟结果;另外一方面通过对辽东湾整个海域环境功能区划的分析,给出各个区域污染物的最大浓度值,运用反决策给出每一个排污口污染物的排放量;最后,根据正反决策的结果,作出分析,为各个部门提供决策支持。整个决策支持系统的设计应该围绕这三个问题展开。

1. 软件界面设计

环境决策支持系统的集成采用的是嵌入式紧密集成方式,所有的开发模型都嵌入到GIS工作环境中,在其中增添应用模块菜单和工具条,具体可以参见图17-14。

2. 功能模块设计

1)功能需求分析

通过分析,辽东湾海洋环境容量决策支持系统需要满足以下6个方面的需求。

(1)通用数据管理:实现与数据库的交流,数据的组织、查询、显示、编辑、更新。

(2)环境信息统计:对县或地市以上工业企业污染物排放治理情况及相关环保信息

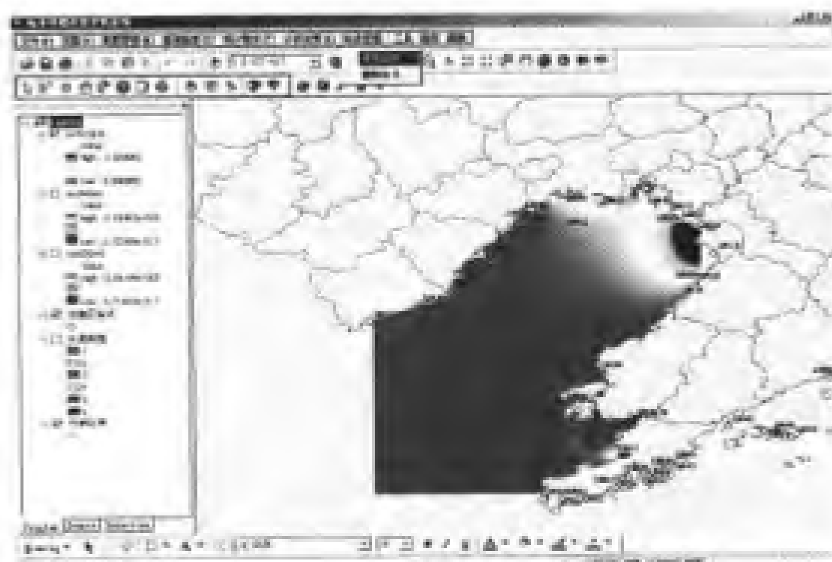


图 17-14 辽东湾环境决策支持系统

进行查询、显示、统计分析(按地区、行业类别、排放量、流域、达标情况)以及可视化表达。

(3)污染源查询和管理:根据环保部门工作流程需要,实现海岸带范围内各类污染源(水、气)的查询显示、空间和属性的增删改查、统计排序汇总、分析、可视化表达。

(4)环境监测站点信息维护:根据环境监测站点的需求,实现监测点位的变更,环境监测数据的维护如增加、删除、修改以及按不同的条件(城市、类型)查询。

(5)近岸海域污染扩散模拟:根据辽东湾海域潮流状况,采用三维扩散输移方程,在辽东湾海域范围内模拟任意时刻任意位置的污染物浓度时空分布和污染范围扩张情况(以等值线、网格值方式)。

(6)环境功能区划:根据环境部门的需求对海岸带重点城市各种环境功能分区图和数据进行调整更新与表达。

2)软件功能实现

根据对功能需求的分析,在辽东湾环境容量决策支持系统中完成六项软件模块。分别是地图基本操作模块,数据输入模块,数据统计演示模块,站点管理模块,模型集成模块以及分析决策模块。

(1)地图基本操作功能:这一部分的主要功能包括地图放大、缩小、漫游、刷新地图、鹰眼、测距、测面积等内容。通过这些功能可以完成对地图缩放、漫游、测面积等一系列基本的操作功能。

(2)数据管理功能:数据管理功能主要包括添加站点及其属性、导入数据以及浏览文件。

(3)统计演示:在统计演示功能中,主要包括曲线图表的演示以及柱状图表的演示。通过这一功能,可以对海域某一类污染物浓度的单一和多个站点的数据进行统计,并制作相应的图表。

在这一部分,设计了相应的站点统计表格,实现了时空数据的关联(具体表格设计见图 17-15)。这种设计可以减少数据冗余度、减少存储空间,提高效率。其中关联表中存

储了各个站点所在的省市名称，这样可以对省市作横向对比；空间属性表是各个站点的经纬度坐标，通过这个表可以进行空间查询；属性表中则包括各个站点不同时刻各种测量的属性值；这三个表通过站位编号这个字段实现相互之间的关联。通过这个设计，实现了统计数据的时空分析，可以分析同一时间不同站点之间的污染物浓度情况；另外，还可以分析同一站点不同时间序列之间的污染物浓度情况。例如，实现了对辽东湾不同环境站点同一时间及同一站点不同时间污染情况的时空统计分析功能（见图 17 - 16）。

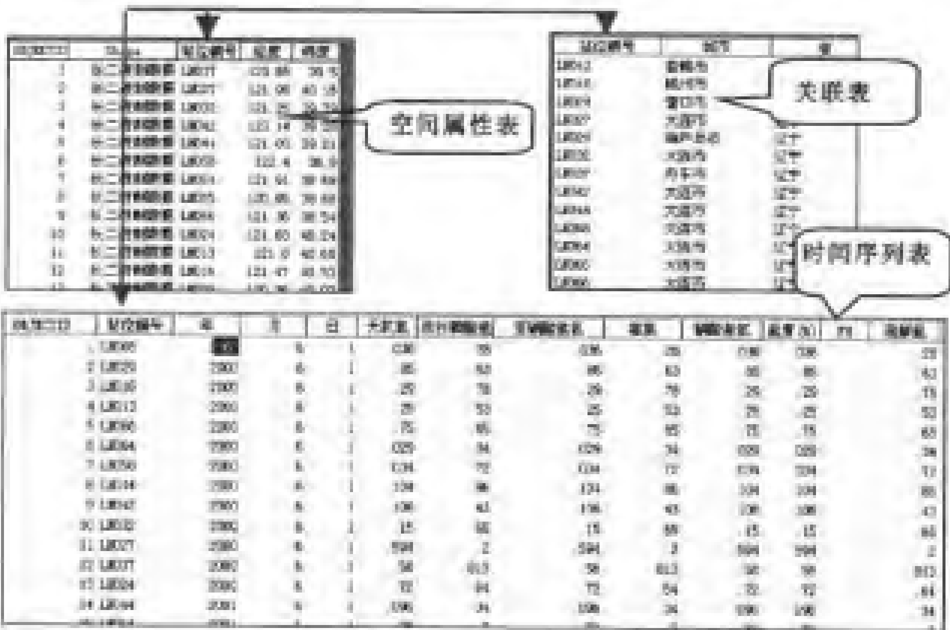


图 17 - 15　站点数据时空关联表设计

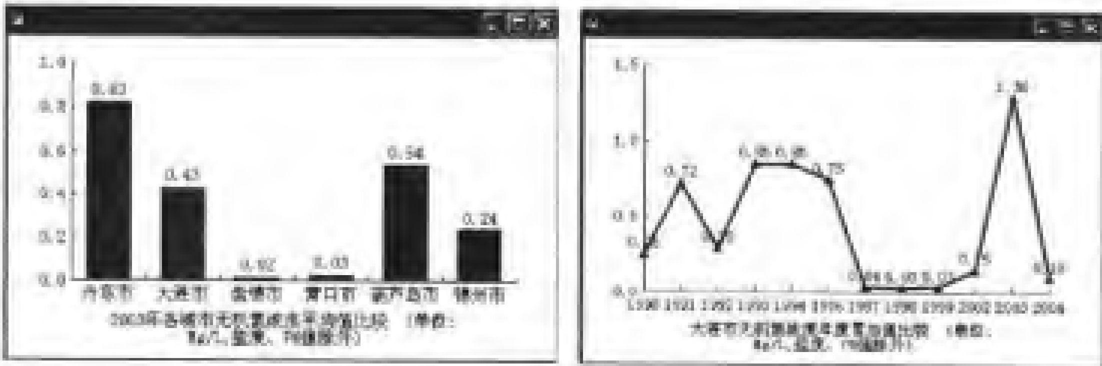


图 17 - 16　统计演示

（4）站点管理模块：在这一模块中，可以添加和删除排污站点，也可以根据实际情况更改排污量，从而使模拟输入与实际排污相吻合。

（5）模型集成模块：在模型集成中，主要包括三个方面的功能，模型调用，清除模型生成的结果以及对模型输出结果转化为 Grid 格式，从而方便于输出结果的显示以及进行空间分析。

在模型调用过程中，既可以调用单个排污口的数据进行模拟分析，也可以对所有的

排污口一起进行模拟分析;同时对于输出结果可以进行相应的清除工作,这样可以更加清楚各个排污口对于整个区域的影响。

(6)分析决策功能:分析决策功能包括叠加分析、污染模拟分析、容量测算。这是系统的核心模块。在叠加分析中可以通过导入两个图层对它们进行取并集、交集、排斥等叠加分析。在数值模拟分析中,根据应用的范围和应用目标,可通过领域应用分析模型DLL与GIS组件紧密集成实现污染扩散模拟、容量测算、超标预警等。

此外还有一个系统配置与帮助模块,将系统的一些初始化参数存放在.ini文件中,如链接SQLServer数据库所需的参数,并提供接口以方便用户进行设置。另外提供帮助功能。

17.3 环境容量应用结果分析

图17-9为辽东湾四类排放口入海位置图,从图中可以看出排入辽东湾的排污口主要有四类:混排口、入海河口、市政下水口、直排口。具体的分布位置在图中标注非常清楚。图17-17是环境容量测算模型运行的数据流程,由此进行了环境污染状况的模拟。

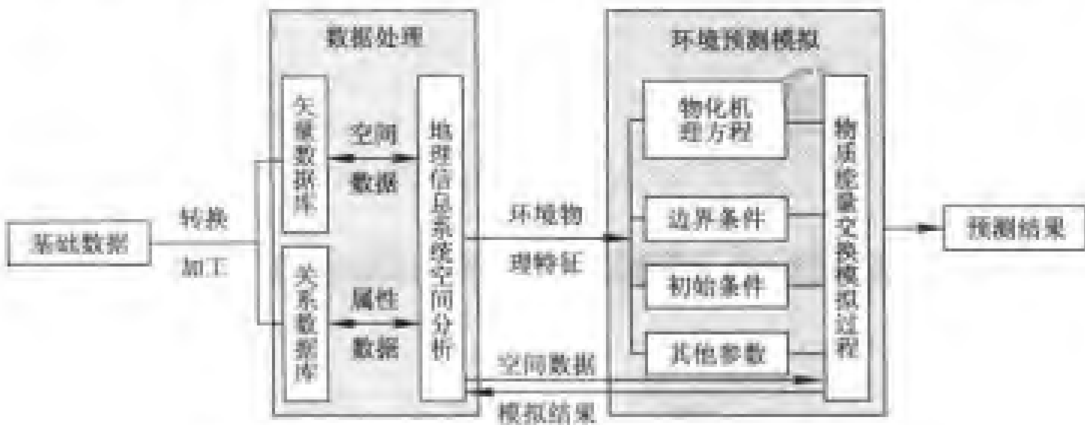


图17-17 地理信息系统技术支持下的环境建设数据流程

模拟过程中需要的测量数据是由辽宁省环境保护局提供,这些数据集中在辽东湾的顶部区域。因此对于整个区域的模拟结果,肯定不会很精确,但是可以根据部分测站的数据,研究污染物扩散、输移的规律。在模型分析中,假定辽东湾为无污染,作了120天的模拟污染物扩散、输移的分析,并分别选取了第30天,第60天,第90天,第120天四天COD输移、扩散图(单位为mg/L)的变化情况,具体可以参考图17-18。从图中可以看出辽东湾COD污染比较严重的区域在辽东湾顶部的东北角和西北角;随着时间的增长,其污染的范围在扩大,污染物的浓度在增加。

从整个辽东湾海域的污染物分布来看,以辽东湾东北部(辽河入海口一带,即营口-盘锦海域)和西北部污染物浓度最高,其他区域污染物浓度中等或较低。这一规律与方志刚(2001)中的研究结论比较吻合,说明使用这种方法能比较好的模拟污染物的输移扩

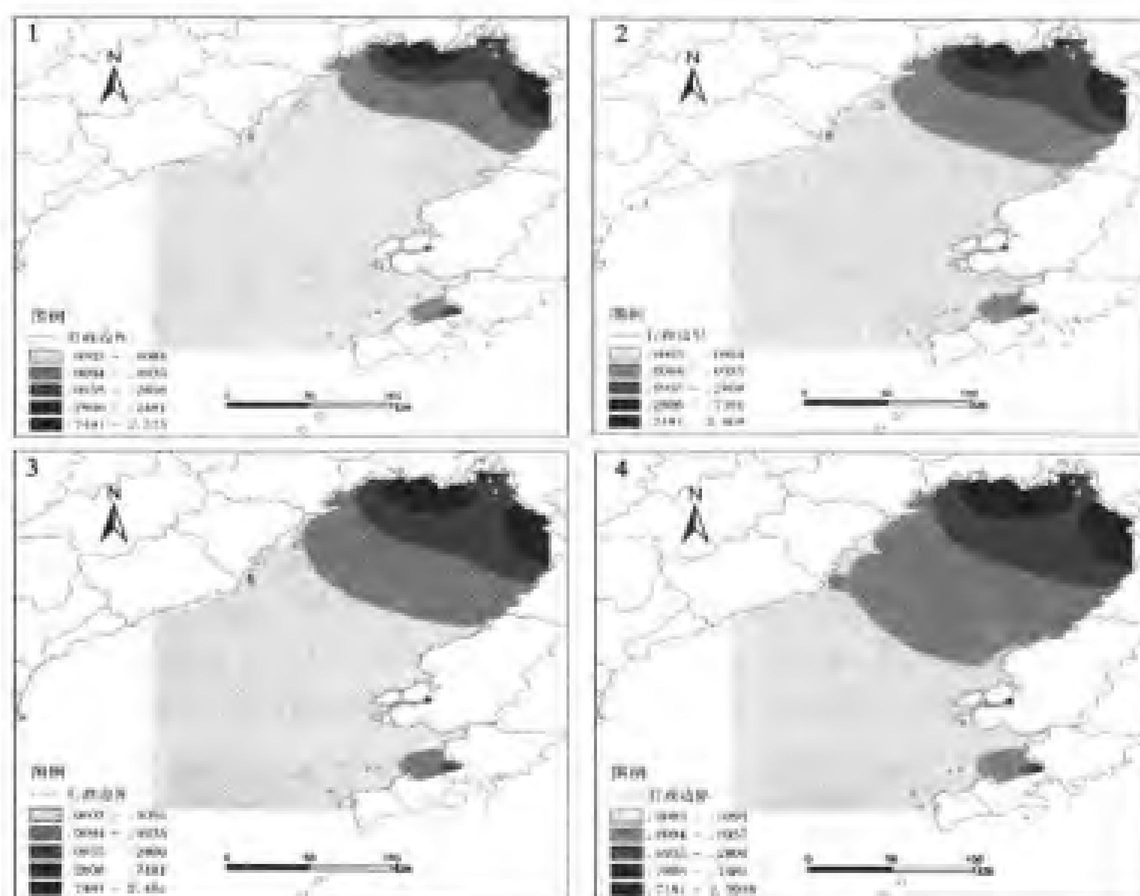


图 17－18　辽东湾 COD 分布图(1～4)

散规律。产生这种现象的原因是辽宁中部城市群(沈阳、铁岭、抚顺、本溪、辽阳、鞍山、营口、盘锦等八城市)的工业污水和生活污水几乎全部被辽河所接纳和携带,这是辽东湾顶部东北角污染严重的主要原因;而在辽东湾西北角则主要是由于河流大小凌河携带污染物进入辽东湾造成的。在模拟过程中,辽东湾 COD 的最大值基本上稳定在 2.4 mg/L 左右,从第 30 天到第 120 天,辽东湾 COD 平均含量一直在增加,分别为 0.043,0.055,0.062,0.074 mg/L,从图中可以很清晰的看出污染物的输移扩散规律。这说明,在排污口附近区域,海水的 COD 超过实测辽东湾 COD 平均含量,而对于整个的辽东湾海域而言,COD 含量并没有超过实测辽东湾 COD 平均含量。对模型进行了为期 1 年的模拟,可以发现其在 4 个月时已经能够达到基本稳定,所以在制图过程中,只对前四个月的 COD 模拟结果进行了分析。表 17－1 和图 17－19 是实际测量的辽东湾 COD 平均含量年际变化数据(单位 mg/L)。

表 17－1　辽东湾 COD 平均含量年际变化

年份	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
COD/(mg·L^{-1})	1.06	1.14	0.5	0.62	0.78	1.04	1.42

通过对比模型的模拟结果和实际测量数据，我们不难看出模拟数值的最大值从第30天以后基本上保持稳定，实际测量的COD平均含量要小于排污口附近模拟的结果，说明排污口附近COD含量比较高，这与实际情况也是相吻合的；而在远岸区，污染物浓度相对比较低。为了更好地分析辽东湾整个区域相对于各功能区划水质是否已经超标，进行了COD模拟含量与辽东湾功能区划所允许COD含量的对比分析。

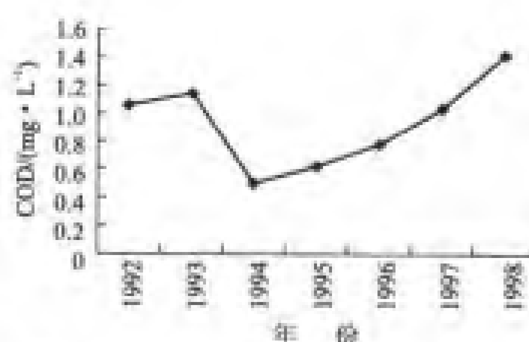


图17-19 辽东湾COD平均含量年际变化图

从图17-8中可以看出，辽东湾的功能区划分为七个部分，中部海域、近岸海域、一类水域、二类水域、三类水域、四类水域以及混合区。在不同的功能区内，其污染物都有一个最大允许含量，将模拟所得的COD与各个功能区所允许的最大COD含量进行对比，所得结果见图17-20。通过分析可以看出辽东湾绝大部分区域COD含量并没有超过功能区划规定的COD含量上限。超标区域主要分布在近岸海域与中部海域，这与辽河以及双台子河排放大量污染物有关系，辽河和

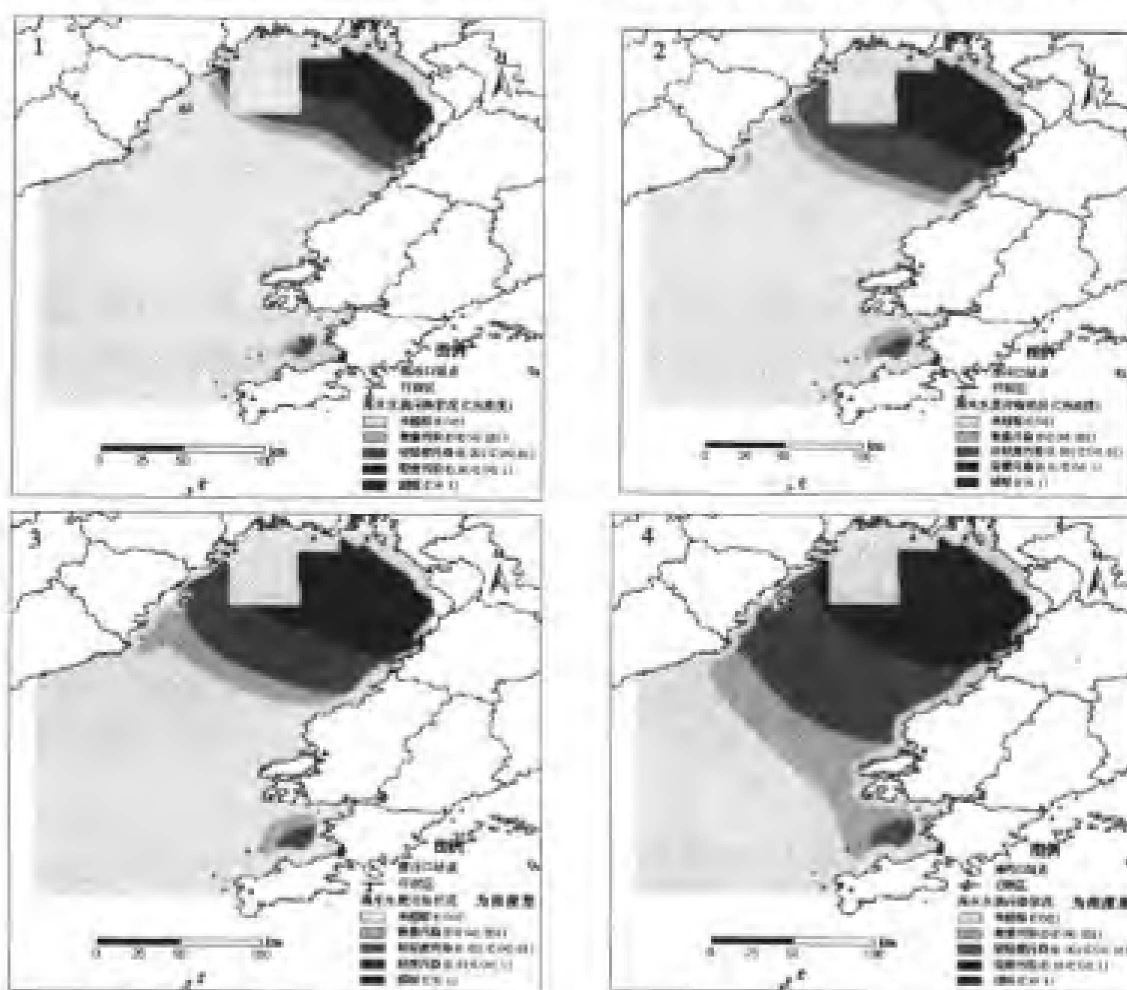


图17-20 辽东湾COD模拟值与功能区划值差值图(1~4)

双台子河作为辽东湾的两条最大的河流之一，每年都要携带大量的污染物入海，这直接导致了辽东湾顶部区域的近岸及中部海域 COD 含量超标。鉴于这种情况，需要加强对辽河以及双台子河污染物排放总量的控制，最终达到使本区域水质符合功能区划的要求。

17.4 本章小结

本章对模型与 GIS 的集成进行了探讨，以海洋动力模型和 GIS 集成为例，建立了辽东湾的环境容量决策支持系统，应用正、反决策方法对辽东湾的环境容量进行计算与分析，为决策、应用部门提供服务。根据对环境决策支持系统功能需求分析，设计并实现了决策支持系统的各个功能。并根据决策支持系统进行了辽东湾环境容量问题的模拟研究。

参考文献

1 方国洪，于克俊. 1980. 斜压海洋动力学的一种三维数值模式，I. 动力学方程数值格式. 海洋与湖沼，29(3)：232－240

2 Lardner R W, Song Y. 1991. An algorithm for three-dimensional convection and diffusion with very different horizontal and vertical scales. Internat J Numer Methods Engrg，32：1 303－1 319

3 Sankaranayanan S, Shankar N J, Cheong H F. 1998. Three-dimensional finite difference model for transport of conservative pollutants. Ocean Engineering，25(6)：425－442

4 Sommeijer B P, Kok J. 1995. Implementation and performance of the time integration of a 3D numerical transport model[J]. Internat J Numer Methods Fluids. 21：349－367